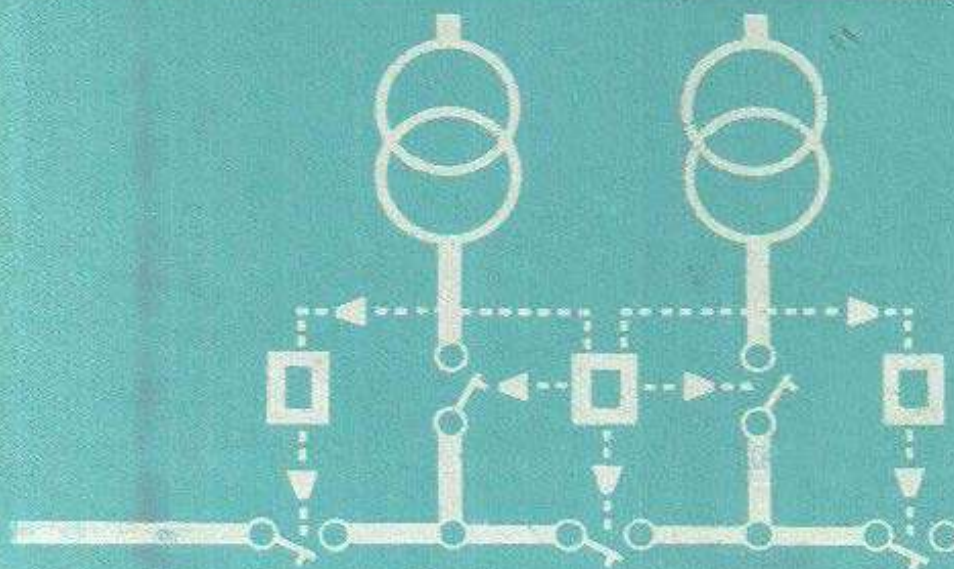


O. CENTEA

C. BIANCHI

INSTALATII ELECTRICE



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Conf. dr. ing.

OVIDIU CENTEA

Conf. dr. ing.

CORNEL BIANCHI

INSTALAȚII ELECTRICE



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI

Referent științific :
Conf. dr. ing. B. RADOVICI

Redactor : Ing. GABRIELA DEDU
Tehnoredactor : V. BIRIȘ
Coperta de NICOLAE SÎRBU

În condițiile construirii societății socialiste multilateral dezvoltate, planurile economice de stat ale României prevăd creșterea, în ritm înalt, a construcțiilor industriale, social-culturale, agricole, precum și a celor destinate locuințelor. În același timp, gradul de dotare a acestor clădiri cu instalații de toate felurile, inclusiv instalații electrice, va crește în continuare, în vederea asigurării unei funcționalități cât mai depline a construcțiilor (exploatare intensivă și condiții de confort ridicate).

Din aceste motive se poate aprecia că instalațiile cu care sînt înzestrate clădirile de toate categoriile, și în particular instalațiile electrice, vor cunoaște o dezvoltare ascendentă, într-un ritm și mai ridicat decît cel prevăzut pentru construcții.

Cursul de instalații electrice cuprinde elementele necesare pentru formarea de specialiști în proiectarea, execuția și întreținerea instalațiilor electrice din construcții.

Înțelegerea și aplicarea corectă a noțiunilor de instalații electrice necesită stăpînirea cunoștințelor predate la matematică, electrotehnică și la alte discipline prevăzute în planul de învățămînt al facultății. În cadrul cursului sînt prezentate elemente teoretice și practice de la trei discipline: Iluminat electric, Aparat electrice și Instalații electrice, toate concurînd la pregătirea viitorului inginer instalator electrician.

Partea privitoare la iluminatul electric prezintă mărimile și unitățile fotometrice, elementele constructive și funcționale ale surselor de lumină și corpurilor de iluminat, metodele de calcul cantitativ și de apreciere a calității iluminatului. Cunoașterea conținutului acestei părți permite executarea calculului fotometric al instalațiilor de iluminat, verificarea și întreținerea corectă a acestora.

Partea de aparate electrice prezintă unele fenomene generale — încălzirea elementelor parcurse de curenți, forțe electrodinamice, arcul electric etc. — și apoi descrierea constructivă și funcțională ca și deducerea relațiilor de calcul mai importante pentru unele aparate și elemente de circuit foarte utilizate în tehnica instalațiilor electrice: conductoare, cabluri, bare, fuzibile, întreruptoare, rele și declanșatoare, prize de pămînt etc. Studiul acestei părți asigură posibilitatea alegerii corecte a aparatelor și elementelor de circuit din care se compune o anumită instalație electrică.

Ultima parte a lucrării conține elemente de instalații electrice propriu-zise. Sînt dezvoltate unele probleme generale ale instalațiilor electrice (pierderi de putere și de energie, pierderi de tensiune, curenți de scurtcircuit, protecția rețelelor și instalațiilor electrice), precum și probleme de concepere, de calcul și de execuție pentru instalațiile electrice de lumină și forță și pentru instalațiile electrice conexe mai importante (instalații de ameliorare a factorului de putere, instalații de paratrăsnet, instalații de protecție împotriva tensiunilor accidentale etc.).

Ținând seama de pregătirea complexă a inginerului instalator, trebuie asigurată o bună corelare între instalațiile electrice și celelalte tipuri de instalații — termice, ventilare, apă etc. — care se amenajează în aceeași clădire.

În cadrul lucrării de față este oglindită situația actuală din acest domeniu în România; ținând seama de prevederile documentelor de partid privitoare la evoluția instalațiilor electrice și în general a economiei naționale în anii și deceniile următoare, s-au prezentat și perspectivele de dezvoltare în viitor a acestor instalații.

*În mod natural, accentul precumpănitor în cadrul cursului a fost pus pe instalațiile electrice de joasă tensiune (sub 1 000 V); întrucât domeniul tensiunilor joase se învecinează — teoretic și faptic — cu cel al tensiunilor medii și înalte, iar uneori aceste domenii se întrepătrund *, s-a considerat necesar să se prezinte și unele noțiuni privitoare la instalațiile de medie și înaltă tensiune.*

Față de alte lucrări cu titluri similare apărute în România și în străinătate, cursul de instalații electrice se deosebește prin faptul că acoperă un domeniu mult mai întins, are un caracter mai complex și mai complet. De asemenea, lucrarea adâncește în mai mare măsură aspectele teoretice ale fenomenelor, căutând să canalizeze această adâncire nu numai spre înțelegerea fenomenelor, ci și spre aplicarea practică imediată a lor. În fine, lucrarea ține seama de progresele tehnicii instalațiilor electrice oglindite în literatură și de rezultatele cercetărilor specialiștilor români.

Ținând seama de cele expuse, lucrarea prezintă interes pentru studenții de la cursurile de ingineri și subingineri ale facultății de instalații pentru construcții; studenții ingineri și subingineri de la facultățile cu profil electroenergetic; studenții ingineri și subingineri de la facultățile de construcții; inginerii, subinginerii și tehnicienii care își desfășoară activitatea în institute de proiectare, în unități de instalații-montaj și în întreprinderi, în cadrul sectoarelor de exploatare a instalațiilor electrice. Totodată, lucrarea este utilă studenților, inginerilor, subinginerilor și tehnicienilor care se preocupă de instalații neelectrice ce se montează în asemenea clădiri cu instalații electrice.

AUTORII

* În prezent se întâlnesc în mod curent instalații electrice la consumator de 6 sau 10 kV.

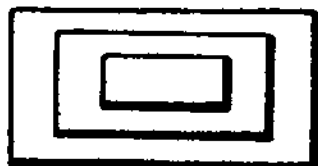
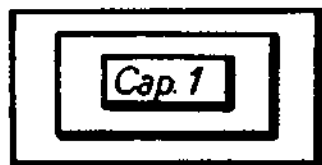


TABLA DE MATERII

Prefață	5
1. INTRODUCERE	9
1.1. Noțiuni despre producerea, transportul, distribuția și utilizarea energiei electrice	11
1.2. Clasificarea instalațiilor electrice de utilizare	13
2. ILUMINATUL ELECTRIC	15
2.1. Radiații luminoase	15
2.2. Fluxul luminos. Inșușirile luminii	18
2.3. Intensitatea luminoasă. Distribuția în spațiu a fluxului luminos	21
2.4. Iluminarea	27
2.5. Luminanța	29
2.6. Reflexia, transmisia și absorbția fluxului luminos. Materiale	32
2.7. Surse electrice de lumină	36
2.8. Corpuri de iluminat	49
2.9. Sisteme de iluminat	56
2.10. Calculul fotometric al instalațiilor de iluminat prin metoda punct cu punct și metoda reflexiilor multiple	58
2.11. Calculul fotometric al instalațiilor de iluminat prin metoda factorului de utilizare	77
2.12. Influența condițiilor de iluminat asupra activității omenești	80
2.13. Confortul vizual în instalațiile de iluminat interior. Calitatea iluminatului și aprecierea ei prin calcul	84
2.14. Proiectarea instalațiilor de iluminat interior și exterior	90
2.15. Măsurări și aparate de măsurat fotometrice	99
3. APARATE ELECTRICE ȘI ELEMENTE DE CIRCUIT	105
3.1. Încălzirea elementelor parcurse de curent	105
3.2. Forțe electrodinamice	114
3.3. Arcul electric	119
3.4. Contacte electrice	127
3.5. Conductoare, cabluri, accesorii	132
3.6. Bare colectoare și de distribuție	136
3.7. Fuzibile	140
3.8. Întreruptoare și separatoare	143

3.9. Relee și declanșatoare	156
3.10. Tablouri de distribuție	160
3.11. Prize de pământ	168
3.12. Descărcătoare de supratensiune	178
3.13. Reactoare (Bobine de reactanță)	182
4. CALCULELE GENERALE ALE LINIILOR ȘI REȚELELOR ELECTRICE	185
4.1. Pierderi de putere și de energie	185
4.2. Calculul pierderilor de tensiune	195
4.3. Calculul curenților de scurtcircuit	205
5. INSTALAȚII ELECTRICE DE LUMINĂ ȘI FORȚĂ	213
5.1. Receptor, consumator și furnizor de energie electrică. Clasificări	213
5.2. Rețele de alimentare și distribuție la consumator	218
5.3. Determinarea puterii cerute de consumatori	247
5.4. Calculul secțiunii circuitelor și coloanelor de lumină. Alegerea echipamentului de protecție, întreruptoarelor, aparatelor de măsurat pentru instalațiile electrice de lumină	250
5.5. Calculul secțiunii conductoarelor, circuitelor și coloanelor de forță. Alegerea și reglarea echipamentului de protecție	255
5.6. Branșamente electrice	259
5.7. Proiectarea instalațiilor electrice de lumină și forță interioară aferente construcțiilor (metodologie)	265
5.8. Execuția instalațiilor electrice	266
6. LINII ȘI REȚELE ELECTRICE AERIENE ȘI SUBTERANE LA CONSUMATOR	277
6.1. Linii electrice aeriene	278
6.2. Linii electrice subterane	281
6.3. Calculul liniilor electrice	287
6.4. Defecte în linii și determinarea locului de defect	294
7. POSTURI DE TRANSFORMARE	295
7.1. Scheme pentru posturile de transformare	295
7.2. Construcția posturilor de transformare	297
7.3. Echiparea posturilor de transformare	300
7.4. Protecția în posturile de transformare	305
7.5. Puncte de alimentare	306
7.6. Considerente asupra alegerii numărului de posturi de transformare, puncte de alimentare și a amplasamentului lor în cadrul ansamblului marilor consumatori industriali	307
7.7. Suprasarcinile admisibile ale transformatoarelor	312
8. PROTECȚIA REȚELELOR ȘI INSTALAȚIILOR ELECTRICE	316
8.1. Generalități	316
8.2. Metode de protecție	317
8.3. Protecția echipamentelor din instalațiile electrice	322

9. REZERVE LOCALE DE ENERGIE ELECTRICĂ ȘI SURSE DE CURENT OPERATIV	328
9.1. Generalități	328
9.2. Baterii de acumulare	330
9.3. Grupuri motor-generator	337
10. AMELIORAREA FACTORULUI DE PUTERE	339
10.1. Factorul de putere în instalațiile electrice	339
10.2. Consecințele scăderii factorului de putere în instalațiile electrice	340
10.3. Compensarea puterii reactive	341
10.4. Mijloace pentru compensarea puterii reactive în scopul ameliorării factorului de putere	343
11. INSTALAȚII DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ATMOSFERICE (INSTALAȚII DE PARATRĂSNET)	355
11.1. Producerea trăsnetului	355
11.2. Instalații de paratrăsnet pentru construcții	357
11.3. Construcțiile ce se prevăd cu instalații de paratrăsnet	370
12. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA TENSIUNILOR ACCIDENTALE	371
12.1. Generalități	371
12.2. Metode de protecție	379
12.3. Verificarea instalațiilor de protecție	401
Anexe	407
Bibliografie	477



INTRODUCERE

Societatea civilizată modernă este caracterizată, între altele, prin utilizarea pe scară largă a energiei electrice, practic în toate activitățile, de la cele mai spectaculoase la cele mai mărunte. Procesele tehnologice industriale cele mai complexe, cele mai moderne domenii ale cercetării științifice, procesul de învățământ de toate gradele, ca și necesitățile casnice sînt astăzi de neconceput fără participarea largă a acestei forme de energie.

Istoria dezvoltării societății arată că, încă din cele mai vechi timpuri, omul a căutat să pună în slujba sa rezervele de energie pe care natura le conținea și care-i erau accesibile, pe măsura gradului de cunoștințe tehnice pe care le poseda în etapa respectivă.

Forțele proprii, focul, vîntul care-i împingea ambarcațiunile, forța animalelor, căderilor de apă etc. au reprezentat surse de energie primară pe care omul le-a utilizat în mod direct. Neajunsurile acestor forme de energie, dintre care cel mai important era randamentul deosebit de slab al producerii și mai ales al transportului ei la distanțe chiar modeste, au determinat căutări permanente care s-au soldat cu punerea în slujba societății a formei electrice a energiei, astăzi incontestabil cea mai perfectă formă sub care energia poate fi vehiculată. În afară de posibilitățile deosebit de favorabile pe care le oferă pentru transportul la distanțe mari a energiei, electricitatea s-a dovedit a avea și alte însușiri deosebit de prețioase: ea permite exploatarea în bune condiții economice și tehnice a rezervelor de energie naturală aflate în locuri greu accesibile — căderi de apă, zăcăminte de combustibil; de asemenea, energia electrică se poate transforma cu mare ușurință și cu randamente ridicate, practic, în toate celelalte forme de energie cunoscute și utilizate în prezent: mecanică, termică, chimică ș. a. Aceste avantaje ale energiei electrice fac ca dezavantajul principal al ei — lipsa mijloacelor tehnice de stocare, deci necesitatea de a produce în fiecare moment exact cantitatea de energie care este consumată — să poată fi neuitată în seamă, stocarea energiei avînd loc la nivelul altor verigi ale procesului de producere a energiei electrice.

Creșterea consumului de energie electrică în timp este o coordonată ce însoțește permanent dezvoltarea civilizației omenești.

Consumul mondial de energie electrică crește datorită sporirii populației globului și progresului economic general al tuturor țărilor și, în special, al celor

în curs de dezvoltare. El urmărește, în general, variația producției industriale, fiind însă influențat și de consumul casnic-edilitar, care are o pondere însemnată și este mai puțin influențat de situația economică generală.

Gradul de dezvoltare a economiei și nivelul de viață al populației unei țări pot fi puse în legătură cu consumul de energie electrică pe locuitor. Consumul specific de energie electrică reflectă nivelul tehnic atins de forțele de producție, și poate fi corelat cu venitul național pe locuitor. Astfel, datele statistice arată că dublarea venitului național pe locuitor, deci a productivității muncii, este însoțită de creșterea consumului specific de energie electrică de trei-patru ori.

În țările socialiste, electrificarea reprezintă o coordonată a politicii de stat. Creșterea producției de energie electrică reprezintă un mijloc de sporire a venitului național, de dezvoltare a economiei, a avuției poporului. Totodată, ea creează posibilitatea omului de a-și face munca mai ușoară, de a-și canaliza activitatea și energia creatoare spre sporirea gradului de cultură, pentru a contribui tot mai mult la dezvoltarea societății. Este elocvent faptul că, în perioada anilor 1950–1967, producția de energie electrică a țărilor socialiste din Europa a crescut de aproape 5,2 ori, în timp ce, în același interval, în celelalte țări europene creșterea a fost numai de 3,7 ori.

În România, în anii construirii socialismului și creării societății socialiste multilateral dezvoltate, s-a dus o politică consecventă de mărire a puterii instalate în centralele electrice și de creștere continuă a cantității de energie produse.

Investițiile au fost canalizate cu prioritate spre construcția de centrale termoelectrice, care necesită eforturi economice relativ reduse și se construiesc în termene scurte, ceea ce a permis înlăturarea rămîinerii în urmă moștenită din trecut. Centralele termoelectrice au fost înzestrate cu agregate moderne — cazane cu parametri ridicați și turbine cu puteri unitare din ce în ce mai mari, ceea ce asigură randamente ridicate.

De asemenea s-au executat importante lucrări de construcții de centrale hidroelectrice, care produc energie electrică ieftină și cu randament deosebit de bun.

Pentru viitor este prevăzută și construirea de centrale nucleare-electrice.

Creșterea consumului de energie electrică și centralizarea producției acestuia au impus o dezvoltare corespunzătoare a rețelelor de transport și distribuție. S-au realizat astfel linii de transport de tensiuni din ce în ce mai ridicate, de 110, 220 și 400 kV, care leagă între ele centralele producătoare de energie electrică, formînd sistemul electroenergetic național. Existența acestui sistem permite să se realizeze în fiecare moment distribuția puterii cerute de consumatori pe centralele interconectate astfel, încît prețul de cost al energiei să fie minim; de asemenea, siguranța în alimentarea consumatorilor este mult mărită. Existența sistemelor electroenergetice naționale și internaționale, care asigură importul și exportul de energie electrică, permit coordonarea producției centralelor termoelectrice și hidroelectrice: astfel, oprirea centrelor termoelectrice pentru efectuarea reviziilor planificate, precum și scăderile capacităților centralelor hidroelectrice în cursul iernii, datorită scăderii deb telor rîurilor, nu aduc tulburări în alimentarea consumatorilor.

Dezvoltarea intensă a instalațiilor electrice de utilizare pune sarcini deosebite inginerilor instalatori, care sînt chemați să contribuie la proiectarea,

execuția și exploatarea instalațiilor electrice din industrie, construcții și din alte ramuri. Ponderea diferitelor tipuri de consumatori de energie electrică rezultă din examinarea repartiției consumului în anul 1970: industrie 55,8%, transport și telecomunicații 1,4%, construcții 1,9%, agricultură 2,0%, gospodăria comună 1,9%, iluminat public 1,0%, iluminat general 3,9%, utilizări casnice 6,4%, consum propriu al centralei 6,8%, pierderi în rețele electrice 10,0%, export 6,9%. Se vede cât de larg este cîmpul de activitate al specialistului în instalații electrice. Observînd procentul relativ ridicat al pierderilor în rețele și ținînd seama de faptul că o mare parte din aceste pierderi au loc în instalațiile de joasă tensiune, rezultă răspunderea mare care revine inginerului instalator pentru funcționarea corectă și economică a acestor instalații.

1.1. NOȚIUNI DESPRE PRODUCEREA, TRANSPORTUL, DISTRIBUȚIA ȘI UTILIZAREA ENERGIEI ELECTRICE

1.1.1. GENERALITĂȚI

Instalațiile electrice, în accepțiunea cea mai largă a noțiunii, cuprind :

- instalații electrice de producere a energiei electrice ;
- instalații electrice de transport a energiei electrice ;
- instalații electrice de distribuție a energiei electrice ;
- instalații electrice la consumator (instalațiile electrice aferente construcțiilor civile și industriale).

În figura 1.1 este dată o schemă generală de principiu, care cuprinde instalațiile pentru producere, transport și distribuție, precum și instalațiile la consumator, necesare alimentării cu energie electrică a unui oraș.

Energia electrică este produsă în centralele electrice din afara orașului la un nivel de tensiune relativ scăzut (10 kV). În vederea transportului economic al energiei, tensiunea este transformată printr-o stație ridicătoare SR la un nivel de 110 kV ; la celălalt capăt al liniei de transport (la intrarea în oraș) tensiunea este coborîită printr-o stație coborîitoare SC la un nivel de 35 kV (corespunzător posibilităților obișnuite de transport în cabluri). De la această stație energia este transportată prin linii subterane la stații de transformare ST_1 , ST_2 etc., situate în centrele de greutate ale consumului.

Pentru o bună repartizare a sarcinilor și pentru realizarea unei instalații cu posibilități de extindere, între stațiile de transformare și posturile de transformare PT_1 , PT_2 etc. se prevăd stații de conexiuni intermediare, denumite puncte de alimentare PA_1 , PA_2 etc. Alimentarea posturilor de transformare se face la 6 sau 10 kV de la punctele de alimentare prin feederi*. Posturile de transfor-

* Distribuitor: conductă electrică servind la alimentarea unui punct de alimentare din barele colectoare ale unei stații de transformare coborîitoare.

Feeder: conductă electrică servind la alimentarea unui post de transformare din barele de distribuție ale unui punct de alimentare.

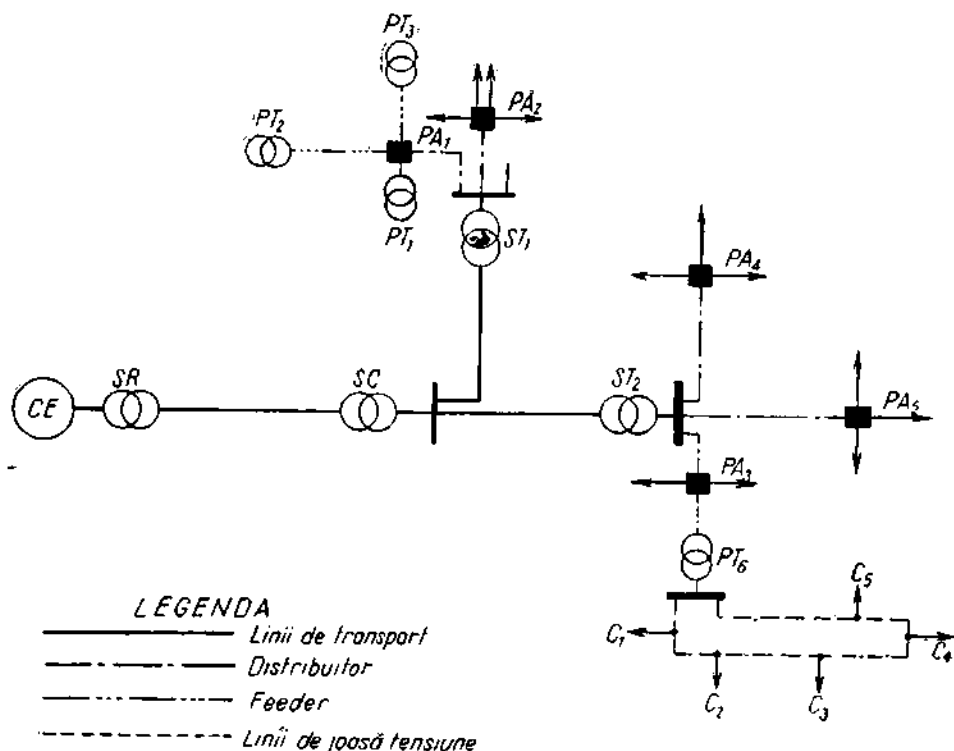


Fig. 1.1. Schema unei instalații pentru producerea, transportul, distribuția și utilizarea energiei electrice :

CE — centrală pentru producerea energiei electrice; SR — stație de transformare ridicătoare la înaltă tensiune (de exemplu raportul de transformare $k_1=10/110$ kV); SC — stație de transformare coborâtătoare de înaltă tensiune (de exemplu $k_2=110/35$ kV); ST₁, ST₂ — stații de transformare coborâtătoare la medie tensiune ($k_3=35/10$ kV); PT₁, PT₂, ... — posturi de transformare ($k_4=10/0,4$ kV); C₁, C₂, ... — consumatori de joasă tensiune; PA₁, PA₂, ... — puncte de alimentare

mare alimentează direct rețeaua de joasă tensiune de 0,4 kV sau 0,231 kV, la care sînt racordați și consumatorii obișnuiți de joasă tensiune C₁, C₂ etc., ce absorb puteri mici (sub 50 kW). Pentru consumatorii de puteri mari (peste 50 kW) este necesar ca alimentarea să se facă dintr-un post de transformare situat în general în construcție, iar la puteri foarte mari (incinta unei uzine cu suprafață mare și numeroase obiective) este necesară o stație de transformare proprie.

1.1.2. PRODUCEREA ENERGIEI ELECTRICE

În principiu, producerea energiei electrice se realizează prin transformarea unei alte forme de energie ca :

a. transformarea energiei chimice a combustibililor (centrale termoelectrice sau centrale electrice de termoficare) ;

- b. transformarea energiei potențiale a apelor (prin centrale hidroelectrice);
- c. transformarea energiei atomice (prin centrale atomoelectrice);
- d. transformarea altor forme de energie cu utilizare mai scăzută (energia mareelor, energia eoliană).

1.1.3. TRANSPORTUL ENERGIEI ELECTRICE

În transportul energiei electrice se utilizează soluția mării tensiunii, în scopul micșorării pierderilor de energie, ceea ce aduce cu sine și alte avantaje: în primul rând se asigură o economie în ce privește consumul de material conductor prin aceea că, la densitatea de curent presupusă constantă, secțiunea conductorului, odată cu intensitatea curentului, scade invers proporțional cu creșterea tensiunii. Pe de altă parte, se asigură și micșorarea pierderilor de tensiune pe linia de transport*.

De aceea, în prezent se caută ca transportul energiei electrice să se facă la tensiuni cât mai ridicate; tensiunile uzuale de transport sînt de 110-220 sau chiar de 400 kV. Nivelul tensiunii de transport este limitat la un moment dat de greutățile de izolare a liniei și a aparatajului aferent.

Liniiile de înaltă tensiune transportă energia electrică de la sursă la consumatori (orașe, mari industrii). Ele se execută, în afara orașelor, de tip aerian, iar în interiorul orașelor mari pot fi de tip subteran, cu condiții speciale de izolare.

1.1.4. DISTRIBUȚIA ENERGIEI ELECTRICE

Distribuția energiei electrice în interiorul orașelor sau marilor industrii se realizează la un nivel de 35 kV (înaltă tensiune), 10 kV sau 6 kV (medie tensiune) și 0,4 kV și 0,231 kV (joasă tensiune), în cadrul unor scheme asemănătoare cu cea arătată în figura 1.1.

Pe baza unor studii tehnico-economice s-a constatat că tensiunea de distribuție (joasă) cea mai convenabilă este cea de 0,4 kV (din punct de vedere al pierderilor de tensiune, al securității omului, al eficacității luminoase a lămpilor cu incandescență etc.), iar pentru distribuția în medie tensiune — 10 kV (pierderi minime fără dificultăți prea mari de izolație, care se măresc cu ridicarea nivelului tensiunii).

1.2. CLASIFICAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE UTILIZARE

Din punctul de vedere al utilizării energiei electrice, instalațiile electrice se pot clasifica astfel:

- a. instalații electrice pentru lumină, cuprinzînd instalațiile electrice de iluminat interior și exterior;

* În condițiile micșorării secțiunii conductoarelor cu creșterea tensiunii, pierderile de energie și de tensiune scad nu cu puterea a doua a tensiunii, ci aproximativ cu puterea întâi a acesteia.

b. instalații electrice pentru forță, cuprinzând instalațiile electrice pentru motoare electrice, cuptoare electrice, tratamente termice și pentru mașini de ridicat și transportat ;

c. instalații electrice de curenți slabi, cuprinzând :

- instalații electrice de semnalizări acustice, optice și mixte (instalații de semnalizare propriu-zise, instalații de avertizare a incendiilor, pază împotriva furtului, căutătoare de persoane) ;

- instalații electrice fonice și video ca : instalații de telefonie, radioficare, radiodistribuție, radiosonorizare, interfonie ; instalații de antenă colectivă pentru recepționarea emisiunilor de radio și televiziune, instalații speciale pentru retransmisiuni de radio și televiziune ;

- instalații electrice de ceasoficare ;

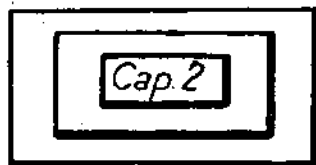
d. instalații electrice speciale ca :

- instalații electrice de iluminat tehnologic (scene de teatru, studiouri cinematografice, radio și televiziune) ;

- instalații pentru retransmisiuni de radio și televiziune ;

e. instalații de protecția omului împotriva electrocutărilor (atingere directă sau indirectă) ;

f. instalații de protecția construcțiilor și instalațiilor electrice împotriva descărcărilor electrice atmosferice (instalații de paratrăsnet).



ILUMINATUL ELECTRIC

Experiența arată că, dintre toate soluțiile posibile pentru iluminarea unui anumit loc de muncă (atelier industrial, sală de clasă, încăpere de locuit, magazin, sală de expoziție, teren de sport, stradă, piață etc.), numai un număr redus sau chiar o singură soluție asigură realizarea unui efect optim sub aspect tehnic și economic; de aceea, în prezent sînt dezvoltate metode de proiectare a instalațiilor de iluminat, pentru a căror justă aplicare este necesară cunoașterea prealabilă a unor noțiuni de bază din diferite domenii. Luminii, fiind o radiație electromagnetică, i se aplică toate legile fizicii în ceea ce privește producerea și distribuția ei; datorită faptului că evaluarea senzațiilor produse de către lumină asupra ochiului necesită cunoașterea fiziologiei vederii, iluminatul reprezintă un domeniu de graniță între cele două științe, folosind mărimi și unități de măsură proprii, metode de măsurare și de calcul specifice.

2.1. RADIAȚII LUMINOASE

Lumina este radiația electromagnetică ce impresionează retina ochiului omenesc. Din întreg spectrul radiațiilor electromagnetice, care se întinde pe lungimile de undă cuprinse între zero și infinit, radiațiile luminoase ocupă un domeniu extrem de redus, corespunzător lungimilor de undă dintre $\lambda_1 = 0,38 \mu$ și $\lambda_2 = 0,78 \mu$. Împreună cu *radiațiile ultraviolete*, de lungime de undă mai mică ($0,18 \mu - 0,38 \mu$) și cu *radiațiile infraroșii*, de lungime de undă mai mare ($0,78 \mu - 0,10 \text{ mm}$), radiațiile luminoase formează *spectrul optic*.

2.1.1. RADIAȚII TERMICE

Toate corpurile a căror temperatură este diferită de zero absolut radiază energie pe diferite lungimi de undă. Astfel, corpul negru emite radiații care formează un spectru continuu; intensitatea radiației de lungime de undă λ emise de corpul negru este dată de relația lui Planck:

$$p_{\lambda n} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left[\frac{C_2}{\lambda T}\right] - 1} \cdot \left[\frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \mu)} \right] \quad (2-1)$$

unde: $C_1 = 3,707 \cdot 10^8 \text{ [(W} \cdot \mu^4)/\text{m}^2]$ și $C_2 = 1,432 \cdot 10^4 \text{ [}^\circ\text{K} \cdot \mu]$ sînt constante; $\lambda[\mu]$ – lungimea de undă; $T[^\circ\text{K}]$ – temperatura absolută. p_{λ_n} reprezintă puterea emisă de către 1 m^2 de suprafață a corpului negru pe lungimea de undă λ , corpul negru fiind încălzit la temperatura de $T \text{ [}^\circ\text{K}]$.

Pentru diferite valori ale lui T se pot trasa curbele $p_{\lambda_n} = f(\lambda)$, ca în figura 2.1. Pentru fiecare temperatură, curba posedă un maxim; valoarea λ_m a lungimii de undă pentru care p_{λ_n} este maxim (la o temperatură dată) se obține din $\frac{\partial p_{\lambda_n}}{\partial \lambda} = 0$. Efectuînd calculele, se găsește *legea deplasării maximului*, exprimată prin relația:

$$\lambda_m T = b, \quad (2-2)$$

unde $b = 2883 \text{ [}^\circ\text{K} \cdot \mu]$. Rezultă că maximele intensității radiațiilor au loc pentru lungimi de undă cu atît mai mici cu cît temperatura este mai ridicată. La temperaturile la care funcționează filamentele lămpilor cu incandescență obișnuite ($2000 - 3000^\circ\text{K}$) maximul curbei se găsește în afara domeniului vizibil al spectrului. De exemplu, pentru $T = 2883^\circ\text{K}$, $\lambda_m = 1 \mu$, adică maximul se găsește în spectrul infraroșu. Cu creșterea temperaturii, maximul intensității se deplasează spre lungimile de undă mai mici, adică spre domeniul vizibil al spectrului; astfel, pentru ca maximul să aibă loc la lungimea de undă de $0,556 \mu$ (pentru care sensibilitatea ochiului omenesc este maximă), corpul negru trebuie încălzit la o temperatură de $2883/0,556 = 5200^\circ\text{K}$.

Cu creșterea temperaturii, intensitatea maximă a radiației crește cu puterea

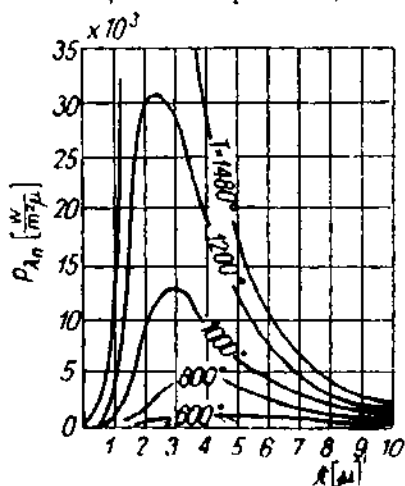


Fig. 2.1. Distribuția intensităților radiațiilor corpului negru în funcție de lungimea de undă, la diferite temperaturi

a cincea a temperaturii absolute; acest lucru rezultă înlocuind relația (2-2) în (2-1).

Corpul negru este un corp limită, inexistent în natură și creat artificial în laborator; corpurile reale se pot clasifica în două categorii.

a. *Corpuri cenușii*, la care, pentru o temperatură dată, intensitatea radiației p_λ pe o anumită lungime de undă este proporțională cu intensitatea radiației corpului negru pe aceeași lungime de undă. Cu alte cuvinte, raportul:

$$\alpha_\lambda = \frac{p_\lambda}{p_{\lambda_n}} \quad (2-3)$$

este constant, independent de λ . Conform legii lui Kirchhoff, α_λ este coeficientul

de absorbție al corpului cenușiu respectiv; în general $\alpha_\lambda < 1$, valoarea $\alpha_\lambda = 1$ corespunzând cazului limită al corpului negru. Un exemplu de corp cenușiu este filamentul de cărbune, cu $\alpha_\lambda = 0,7$ (fig. 2.2).

b. *Corpuri colorate* (selective), pentru care α_λ depinde de λ . Curba spectrală a unui corp colorat nu mai este asemenea cu cea a corpului negru. Exemple de corpuri colorate sînt metalele ca osmiul, tantalul, wolframul (fig. 2.2).

Puterea radiată de unitatea de suprafață a unui corp oarecare pe lungimea de undă λ este $p_\lambda d\lambda$; de aceea puterea emisă de unitatea de suprafață pe toate lungimile de undă cuprinse între λ_1 și λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) este :

$$P = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p_\lambda d\lambda. \quad [\text{W/m}^2] \quad (2-4)$$

Puterea totală radiată de un corp de suprafață S este :

$$P = S \int_0^\infty p_\lambda d\lambda. \quad [\text{W}] \quad (2-5)$$

2.1.2. RADIAȚII PRODUSE PRIN DESCĂRCĂRI ELECTRICE ÎN GAZE ȘI VAPORI METALICI

În cursul descărcării electrice într-o atmosferă formată din gaze sau vapori metalici apar radiații electromagnetice de anumite lungimi de undă bine determinate (monocromatice) (vezi par. 3.3.1); lungimile de undă pe care sînt emise radiațiile caracterizează natura mediului în care are loc descărcarea. Un asemenea spectru de radiații se numește spectru de linii.

În general, unele linii se găsesc în domeniul vizibil al spectrului, altele, în afara lui. Astfel, de exemplu, la descărcarea în vapori de mercur de înaltă presiune apar radiații de următoarele lungimi de undă : 0,4047 μ și 0,4078 μ - violet; 0,4358 μ - albastre; 0,4916 μ - albastru-verzui; 0,5461 μ - verzi; 0,577/0,579 μ - galbene; de asemenea, în domeniul ultraviolet se emit radiații puternice pe lungimea de undă 0,3655 μ .

În cazul spectrelor de linii, relația (2-4) se înlocuiește prin :

$$P = \sum P_\lambda, \quad [\text{W/m}^2] \quad (2-6)$$

unde P_λ este puterea radiației monocromatice de lungime de undă λ .

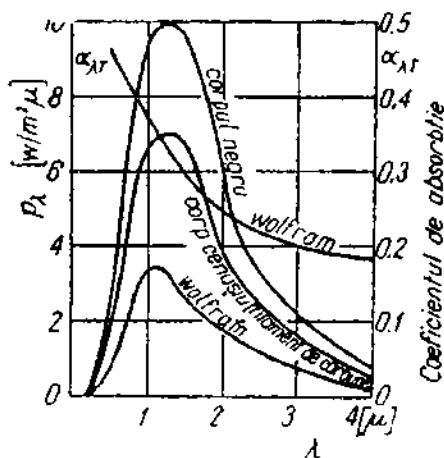


Fig. 2.2. Curbele spectrale ale corpului negru, corpului cenușiu și wolframului.

2.1.3. RADIAȚII PRODUSE PRIN FOTOLUMINISCENȚĂ

Unele substanțe au proprietatea de a emite energie pe anumite lungimi de undă, în contul energiei primite pe alte lungimi de undă. De exemplu, radiațiile cu lungimi corespunzătoare domeniului ultraviolet al spectrului sînt transformate de asemenea substanțe în radiații vizibile. Fenomenul se numește *fotoluminiscență*.

Fotoluminiscența se explică pe baza fenomenelor care au loc la nivelul moleculei. Radiațiile incidente conduc la excitarea acestora; între momentul excitării și cel al emisiei trece un interval de timp numit *constantă de declin*. Dacă în cursul acestui interval de timp molecula excitată pierde sau cîștigă energie — de exemplu prin ciocnire cu altă moleculă — radiația emisă va avea o lungime de undă diferită de cea incidentă, mai mare sau mai mică, după cum între timp energia a scăzut sau a crescut.

Dacă constanta de declin este foarte mică ($10^{-8} \dots 10^{-5}$ s), fotoluminiscența se numește *fluorescență*; pentru constante de declin mari (secunde, ore, zile), fenomenul se numește *fosforescență*.

2.2. FLUXUL LUMINOS. ÎNSUȘIRILE LUMINII

2.2.1. EFICACITATEA LUMINOASĂ RELATIVĂ SPECTRALĂ, FLUXUL LUMINOS ȘI EMITANȚA

Radiațiile monocromatice cu lungimi de undă cuprinse în domeniul vizibil al spectrului nu impresionează în mod egal ochiul omenesc. Experiența arată că două surse care radiază aceeași putere pe lungimi de undă diferite produc asupra ochiului senzații de intensitate diferită. Sensibilitatea ochiului omenesc este maximă pentru radiațiile emise pe lungimea de undă $\lambda_0 = 0,556 \mu$.

Fie două surse luminoase dintre care una emite pe lungimea de undă λ_0 o putere p_{λ_0} , cealaltă, pe o lungime de undă $\lambda \neq \lambda_0$ — puterea p_λ ; evident, dacă $p_\lambda = p_{\lambda_0}$, intensitatea senzației produse asupra ochiului omenesc de izvorul care radiază pe lungimea de undă λ este mai mică decît cea produsă de izvorul care radiază pe lungimea de undă λ_0 . Mărind treptat pe p_λ , se poate determina o valoare a puterii $p_\lambda > p_{\lambda_0}$, pentru care intensitățile senzațiilor produse de cele două izvoare luminoase asupra ochiului omenesc sînt egale; raportul:

$$v_\lambda = \frac{p_{\lambda_0}}{p_\lambda} < 1 \quad (2-7)$$

se numește *eficacitate luminoasă relativă spectrală* sau *vizibilitate relativă* a radiației de lungime de undă λ .

Pentru a putea aprecia egalitatea senzațiilor este necesar ca experiența să se facă cu surse de lumină ce emit pe lungimi de undă foarte apropiate, care să producă senzații de culoare practic identice. Slăbirea fluxului luminos se realizează cu ajutorul unei pene reglabile (fig. 2.3); modificând poziția acesteia, se modifică fluxul absorbit și prin urmare fluxul transmis, în proporții cunoscute.

Efectuînd experiența pentru surse diferite, se pot determina valorile v_λ pentru diferite lungimi de undă și deci trasa curba $v_\lambda = f(\lambda)$. În prezent, curba vizibilității relative (fig. 2.4) este bine studiată și, în România, standardizată (STAS 740-67).

Rezultă că puterea P_λ , emisă pe lungimea de undă λ , produce o senzație luminoasă de aceeași intensitate ca și puterea $v_\lambda P_\lambda$ care ar fi emisă pe lungimea de undă $\lambda_0 = 0,556\mu$. Înseamnă că un izvor care ar emite pe lungimile de undă $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_n$ puterile $P_{\lambda_1}, P_{\lambda_2}, \dots, P_{\lambda_i}, \dots, P_{\lambda_n}$ produce asupra ochiului o senzație a cărei intensitate ar fi egală cu cea a unui izvor care emite pe lungimea de undă λ_0 o putere:

$$P = \sum_{i=1}^n v_{\lambda_i} P_{\lambda_i}. \quad (2-8)$$

În cazul izvoarelor cu un spectru de radiație continuu, puterea $p_\lambda d\lambda$ emisă pe lungimea de undă λ produce o senzație de intensitate egală cu cea a unei surse de putere $v_\lambda p_\lambda d\lambda$, care ar emite pe lungimea de undă λ_0 ; prin urmare, ansamblul radiațiilor emise pe diferite lungimi de undă de către izvorul luminos produce o senzație de intensitate egală cu cea produsă de puterea:

$$P = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} v_\lambda p_\lambda d\lambda \quad (2-8')$$

emisă de un izvor care radiază pe lungimea de undă λ_0 .

În relațiile (2-8) și (2-8') s-au notat prin p_λ, P_λ — puterile totale emise de sursele de lumină pe întreaga lor suprafață. În aceste condiții puterea P , radiată

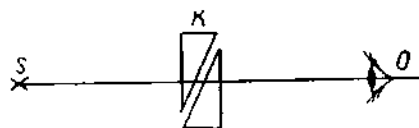


Fig. 2.3. Schița aparatului folosit pentru determinarea eficacității luminoase relative spectrale: S — sursă de lumină; K — pană; O — ochiul observatorului.

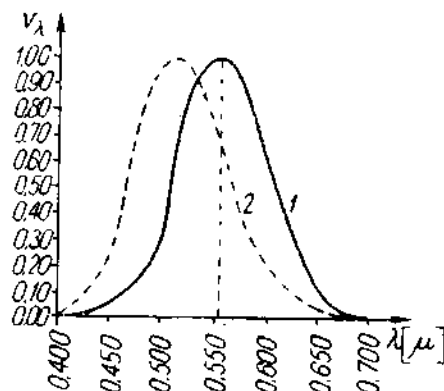


Fig. 2.4. Curbele $v_\lambda = f(\lambda)$ pentru cazul vederii diurne — curba 1 și vederii crepusculare — curba 2

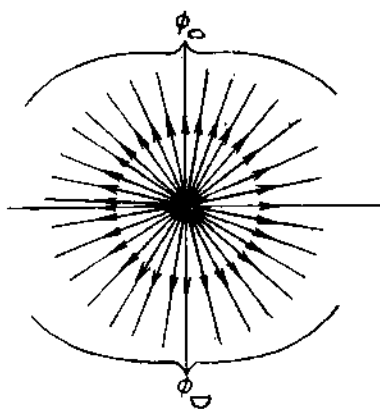


Fig. 2.5. Fluxul luminos emisferic superior și inferior.

de o sursă și evaluată după senzația luminoasă pe care o produce, se numește *flux luminos*. Dimensiunile fluxului luminos sînt cele ale puterii; unitatea de măsură a lui este deci un watt radiat pe lungimea de undă $\lambda_0 = 0,556 \mu$, pentru care $v_\lambda = 1$. Această unitate de măsură se numește watt luminos [Wl].

Dacă în expresiile (2-8) și (2-8') prin p_λ , P_λ se notează puterea emisă pe unitatea de suprafață a sursei luminoase, conform relațiilor (2-4) și (2-6), mărimea P reprezintă fluxul luminos emis pe unitatea de suprafață; ea se numește *emitanță* sau *radianță* (excitanță) și se măsoară în wați luminoși pe metru pătrat [Wl/m²].

În prezent fluxul luminos se măsoară în *lumeni*, un watt luminos fiind egal cu 680 lumeni; de aceea fluxul luminos se determină din relațiile:

$$\Phi = 680 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} v_\lambda p_\lambda d\lambda, \quad \Phi = 680 \sum v_{\lambda_i} P_{\lambda_i}; \quad (2-9)$$

corespunzător, emitanța (radianța) se determină din relația:

$$M = \frac{\Phi}{S}, \quad [\text{lx}] \quad (2-10)$$

unde S este suprafața radiantă. Emitanța se măsoară în *lucși*; un lux este un lumen pe metru pătrat.

Se poate observa, în fine, că în integralele (2-4) și (2-9) în locul limitelor $\lambda_1 = 0,38 \mu$ și $\lambda_2 = 0,78 \mu$, care determină domeniul vizibil, se pot considera limitele zero și infinit, pentru că în afara domeniului vizibil $v_\lambda = 0$.

Din motive practice, fluxul luminos al unui izvor de lumină se clasifică uneori în flux emisferic superior $\Phi_\odot$ și flux emisferic inferior $\Phi_\ominus$; limita de separație a acestor două fluxuri este un plan orizontal ce trece prin centrul izvorului de lumină (fig. 2.5).

2.2.2. RANDAMENTUL LUMINOS AL SURSELOR DE LUMINĂ

a. *Randamentul luminos* η_l al unui izvor de lumină este raportul dintre fluxul luminos emis Φ (exprimat în wați luminoși) și P (puterea consumată de izvor), adică:

$$\eta_l = \frac{\Phi}{P} = \frac{\int_0^\infty v_\lambda p_\lambda d\lambda}{P} \cdot \left[\frac{\text{Wl}}{\text{W}} \right] \quad (2-11)$$

b. *Eficacitatea luminoasă* e a unui izvor de lumină are aceeași definiție cu randamentul luminos: fluxul luminos se exprimă însă în lumeni:

$$e = \frac{\Phi}{P} = \frac{680 \int_0^\infty v_\lambda p_\lambda d\lambda}{P} = 680 \eta_l \cdot \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (2-12)$$

2.3. INTENSITATEA LUMINOASĂ. DISTRIBUȚIA ÎN SPAȚIU A FLUXULUI LUMINOS

2.3.1. INTENSITATEA LUMINOASĂ

Radiațiile electromagnetice care formează fluxul luminos se propagă în linie dreaptă de pe suprafața emițătoare; distribuția acestuia în spațiu este caracterizată prin *intensitatea luminoasă*, care reprezintă raportul între fluxul luminos $\Delta\Phi$ emis într-un unghi solid $\Delta\Omega$ și mărimea acestui unghi solid (fig. 2.6). Prin urmare:

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega} \quad (2-13)$$

Intensitatea luminoasă I se exprimă în candelă [cd], o candelă fiind un lumen/steradian.

Intensitatea luminoasă definită conform relației (2-13) este o mărime medie în interiorul unghiului solid $\Delta\Omega$; dacă unghiul solid se micșorează continuu, tinzând către zero în jurul unei direcții α , se obține intensitatea luminoasă pe direcția α (fig. 2.6):

$$I_\alpha = \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega} = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2-14)$$

Intensitatea luminoasă este o mărime vectorială. Noțiunea de intensitate luminoasă se aplică riguros numai la sursele de lumină cu dimensiuni infinit mici; în practică se aplică surselor punctiforme, adică surselor care au dimensiuni neglijabile în raport cu distanțele la care se determină efectele lor luminoase.

Relația (2-13) permite calculul intensității luminoase medii sferice sau globale ale unei surse, dacă $\Delta\Phi$ se consideră fluxul luminos total emis de către sursă în întreg spațiul, adică în unghiul solid 4π :

$$I_{ms} = \frac{\Phi}{4\pi}; \quad (2-15)$$

prin urmare, intensitatea luminoasă medie sferică a unui izvor de lumină

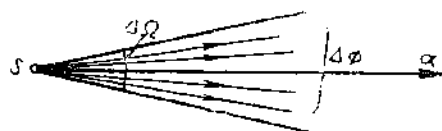


Fig. 2.6. Definirea intensității luminoase

neuniform este egală cu intensitatea luminoasă a unui izvor de lumină uniform care emite același flux luminos ca și izvorul dat.

În mod analog se definesc: intensitatea luminoasă medie emisferică superioară și inferioară ca raportul dintre fluxul luminos emis în emisfera superioară (sau inferioară) și unghiul solid corespunzător, 2π (fig. 2.5):

$$I_{\Delta} = \frac{\Phi_{\Delta}}{2\pi}, \quad I_{\sigma} = \frac{\Phi_{\sigma}}{2\pi} \quad (2-16)$$

Evident:

$$I_{ms} = \frac{\Phi_{\sigma} + \Phi_{\Delta}}{4\pi} = \frac{1}{2} (I_{\sigma} + I_{\Delta}). \quad (2-17)$$

2.3.2. DISTRIBUȚIA ÎN SPAȚIU A INTENSITĂȚILOR LUMINOASE

Dacă se trasează, la o anumită scară, ansamblul vectorilor intensităților luminoase care corespund unui izvor de lumină dat, locul geometric al vîrfurilor acestor vectori va fi o suprafață, denumită *suprafață fotometrică*. Volumul închis de această suprafață constituie un *corp fotometric*, iar intersecția suprafeței fotometrice cu un plan care trece prin centrul izvorului de lumină reprezintă o *curbă fotometrică*. Pentru un izvor luminos punctiform și uniform, de exemplu, suprafața fotometrică este suprafața unei sfere cu centrul în centrul izvorului, corpul fotometric reprezintă volumul acestei sfere, iar curbele fotometrice sînt cercuri mari ale sferei. Evident, corpul și suprafața fotometrică în acest caz sînt figuri cu simetrie sferică (fig. 2.7, a).

Multe surse de lumină folosite în practică au suprafețe fotometrice de revoluție în raport cu axa surselor. În aceste cazuri curbele fotometrice obținute prin intersecția suprafeței fotometrice cu oricare plan ce trece prin axa acestora sînt identice; mai mult chiar, ele prezintă simetrie față de axa corpului fotometric, de aceea este suficient să se reprezinte numai jumătate din curbă (fig. 2.7, d) pentru a se descrie complet repartizarea în spațiu a intensităților luminoase.

La alte surse, suprafața fotometrică prezintă două planuri de simetrie (fig. 2.8): în asemenea cazuri se reprezintă curbele fotometrice rezultate din intersecția suprafeței fotometrice cu cele două planuri de simetrie (fig. 2.7, c).

În fine, în cazul izvoarelor complet nesimetrice, suprafața fotometrică se intersectează cu diferite planuri ce fac unghiuri β date față de un plan de referință și care trec toate prin axa izvorului luminos. Curbele fotometrice astfel obținute se rabat pe planul de referință, obținîndu-se reprezentări ca în figura 2.7, d.

Reprezentările distribuției intensităților luminoase ca în figura 2.7 se numesc reprezentări polare. Ele permit aprecierea rapidă a intensității luminoase pe oricare direcție a spațiului. În general, o anumită direcție în spațiu se poate defini prin două unghiuri: unghiul de înălțime α , pe care direcția dată îl face cu axa sursei de lumină și unghiul de azimut β , pe care un plan ce conține direcția dată și axa sursei îl formează cu un plan de referință ce conține axa (fig. 2.9). Suprafețele $\alpha = \text{ct}$ sînt conuri circulare cu vîrfurile în centrul 0 al sursei și cu axa

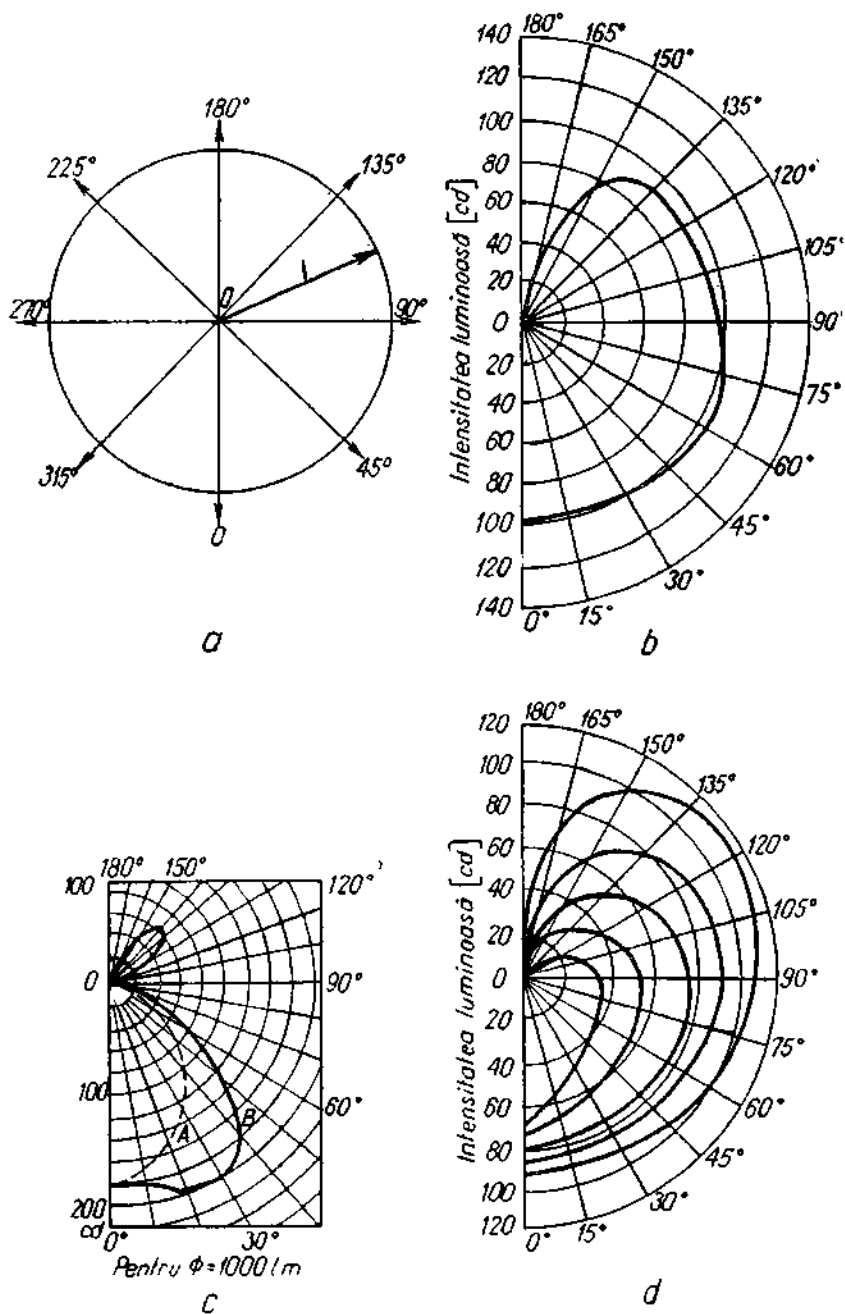


Fig. 2.7. Curbe fotometrice polare

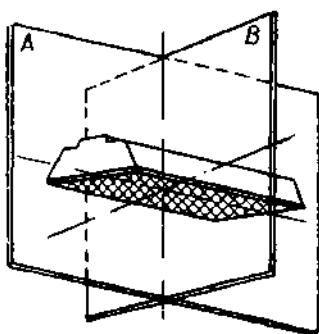


Fig. 2.8. Corp fotometric cu două planuri de simetrie

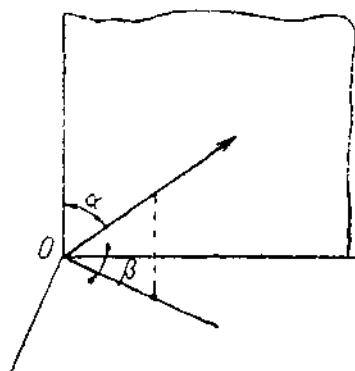


Fig. 2.9. Definirea unei direcții prin unghiul de înălțime α și unghiul de azimut β

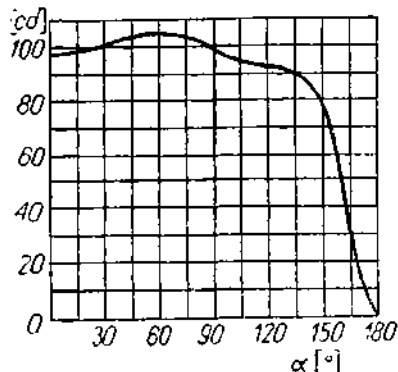


Fig. 2.10. Curba fotometrică în coordonate rectangulare echivalente a curbei polare din figura 2.7, b

sursei drept axă; suprafețele $\beta = \text{ct}$ sînt planuri ce trec prin axă; deci, pentru α și β date, direcția se definește prin dreapta de intersecție dintre conul $\alpha = \text{ct}$ și planul $\beta = \text{ct}$.

În afară de reprezentarea polară descrisă, în practică se mai folosesc — în mai mică măsură — și alte metode de reprezentare. Astfel, curbele fotometrice se pot reda sub forma unor tabele (reprezentare tabelară): pentru fiecare valoare $\beta = \text{ct}$ se tablează funcția $I_a = f(\alpha)$. Evident, suprafețele fotometrice de revoluție se reprezintă în cadrul unei tabele unice. În tabelul 2.1 s-a reprezentat pentru exemplificare curba fotometrică din figura 2.7, b.

Tabelul 2.1.

Curba fotometrică a unei surse de lumină			
α [grd]	I_a [cd]	α [grd]	I_a [cd]
0	96	105	94
15	98	120	93
30	100	135	91
45	104	150	80
60	106	165	30
75	105	180	2
90	96		

Cînd fluxul luminos este emis de izvor într-un unghi solid îngust, curba polară are multe regiuni neprecise; în asemenea cazuri sînt mai avantajoase curbele fotometrice în coordonate rectangulare (fig. 2.10).

2.3.3. CALCULUL FLUXULUI LUMINOS AL UNEI SURSE DE LUMINĂ

Fiind dată distribuția în spațiu a intensităților luminoase pentru un izvor de lumină, fluxul luminos al acestuia se poate determina prin calcul. În acest scop se utilizează relația (2-16) scrisă sub forma:

$$d\Phi = I_{a, \beta} d\Omega, \quad (2-18)$$

unde intensitatea luminoasă s-a notat prin $I_{\alpha, \beta}$, pentru a preciza faptul că ea depinde de unghiurile α și β (fig. 2.9). Fluxul luminos al sursei va rezulta din relația :

$$\Phi = \int_{\Omega} I_{\alpha, \beta} d\Omega, \quad (2-19)$$

integrala din membrul al doilea extinzându-se la întregul spațiu ce înconjoară sursa.

Pentru ușurarea calculului, este necesar ca unghiul solid $d\Omega$ să fie exprimat în funcție de aceleași coordonate α și β ca și intensitatea luminoasă. În acest scop sursa de lumină se așază în centrul unei sfere de rază R ; pe sferă se separă o suprafață elementară, cuprinsă între planurile paralele cu ecuatorul duse la unghiurile de înălțime α și $\alpha + d\alpha$, respectiv între planurile meridiene de unghiuri de azimut β și $\beta + d\beta$ (fig. 2.11).

Datorită mărimii infinite mici a suprafeței dS astfel decupate, aceasta se poate asimila cu un dreptunghi; laturile acestui dreptunghi sînt :

$$\overline{AB} \cong \overline{DC} = R \sin \alpha d\beta; \quad \overline{AD} = \overline{BC} = R d\alpha, \quad (2-20)$$

prin urmare unghiul solid $d\Omega$ este :

$$d\Omega = \frac{dS}{R^2} = \frac{\overline{AB} \overline{AD}}{R^2} = \sin \alpha d\alpha d\beta. \quad (2-21)$$

Înlocuind relația (2-21) în (2-19) și precizînd limitele integralelor astfel încît suprafața dS să se deplaseze pe întreaga suprafață a sferei, relația de calcul a fluxului luminos devine :

$$\Phi = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} I_{\alpha, \beta} \sin \alpha d\alpha d\beta. \quad (2-22)$$

Pentru cazul că suprafața fotometrică este un corp de revoluție, intensitatea luminoasă nu depinde de unghiul β ; punînd, pentru acest caz, în relația (2-22) I_α în loc de $I_{\alpha, \beta}$, se obține :

$$\Phi = \int_0^\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha \int_0^{2\pi} d\beta = 2\pi \int_0^\pi I_\alpha \sin \alpha d\alpha, \quad (2-23)$$

relație cu care se poate calcula fluxul luminos al unei surse simetrice.

Atunci cînd funcția $I_{\alpha, \beta}$ sau I_α este dată sub formă analitică, aplicarea relațiilor (2-22) și (2-23) se face fără greutate (vezi par. 2.6.1 și 2.10.2). În majoritatea cazurilor însă, distribuția în spațiu a intensității luminoase este dată

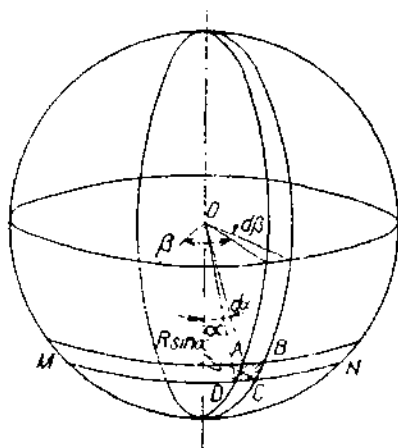


Fig. 2.11. Schemă pentru deducerea relației de calcul a fluxului luminos

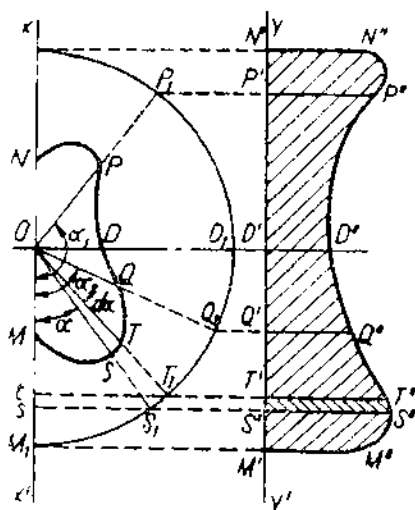


Fig. 2.12. Construirea diagramei Rousseau

grafic sau tabelar (vezi par. 2.3.2). În asemenea cazuri, calculele se execută prin metode grafico-analitice, calculându-se fluxul luminos emis în unghiuri solide mici și adunând toate aceste fluxuri.

În cazul surselor luminoase simetrice, calculele grafico-analitice se execută foarte simplu, prin diferite metode.

Metoda lui Rousseau, deosebit de mult utilizată, se aplică surselor cu suprafețe fotometrice de revoluție descrise printr-o curbă polară (fig. 2.12). Cu centrul în punctul O , centrul sursei luminoase, se duce un semicerc de o rază oarecare R [cm]. De asemenea, la o distanță oarecare, se duce dreapta $Y'Y''$ paralelă la axa sursei de lumină $X'X''$. Sub un unghi oarecare α se duce o rază care intersectează cercul în punctul S_1 ; din S_1 se trasează o paralelă cu axa orizontală și se măsoară de la axa $Y'Y''$, segmentul $\overline{S'S''} = \overline{OS}$, adică la scara

respectivă $\overline{S'S''}$ reprezintă intensitatea luminoasă pe direcția α . Se repetă operația pentru diferite direcții α , obținându-se un număr de puncte N'' , P'' , D'' , Q'' , S'' , M'' prin care se trasează o curbă. Se poate demonstra că suprafața cuprinsă între curba N'' , ..., M'' și axa $Y'Y''$ reprezintă, la o anumită scară, fluxul izvorului luminos.

Într-adevăr, fie două raze foarte apropiate $\overline{OS_1}$ și $\overline{OT_1}$ duse pentru unghiurile α și $\alpha + d\alpha$; din construcția grafică rezultă:

$$\overline{S'S''} = \overline{OS} \cong \overline{T'T'} = \overline{OT} \cong a I_\alpha, \quad (2-24)$$

unde a [cm/cd] este scara la care s-a reprezentat curba fotometrică. Pe de altă parte:

$$\overline{OS} = R \cos \alpha; \quad (2-25)$$

creșterea lui $\overline{OS}$ cu unghiul α este negativă ($\overline{OS}$ scade când α crește); de aceea:

$$d(\overline{OS}) = -\overline{st} = -\overline{S'T'} = -R \sin \alpha d\alpha, \quad (2-26)$$

așa că:

$$\overline{S'T'} = R \sin \alpha d\alpha. \quad (2-27)$$

Elementul de suprafață $S'T'T'S''$ poate fi asimilat cu un dreptunghi, a cărui suprafață este:

$$dS = \overline{S'T'} \overline{S'S''} = a R I_\alpha \sin \alpha d\alpha, \quad (2-28)$$

astfel încît suprafața întreagă se calculează din :

$$S = aR \int_0^\pi I_a \sin \alpha \, d\alpha. \quad (2-29)$$

Comparînd relația (2-29) cu (2-23), se vede că :

$$\Phi = \frac{2\pi}{aR} S, \quad (2-30)$$

ceea ce demonstrează afirmația făcută.

Metoda unghiurilor solide egale. Cu centrul în O , centrul izvorului luminos, se trasează o sferă de o rază oarecare R ; diametrul sferei care corespunde cu axa izvorului se împarte în n părți egale, prin care se duc planuri normale la axă (fig. 2.13). Suprafața unei zone sferice de înălțime h este în general $2\pi Rh$; în cazul studiat, pentru fiecare zonă $h=2R/n$, deci unghiul solid sub care se vede fiecare zonă din centrul sferei este :

$$\Delta\Omega = \frac{2\pi R \frac{2R}{n}}{R^2} = \frac{4\pi}{n}, \quad (2-31)$$

același pentru fiecare zonă. Considerînd drept valoare mijlocie a intensității luminoase în fiecare zonă $I_1, I_2 \dots$ conform figurii 2.13, fluxul luminos emis de către izvor este :

$$\Phi = \sum I_{a_i} \Delta\Omega_i = 4\pi \frac{\sum I_{a_i}}{n} = 4\pi I_{ms}, \quad (2-32)$$

unde :

$$I_{ms} = \frac{\sum I_{a_i}}{n} \quad (2-33)$$

este intensitatea luminoasă medie sferică a izvorului respectiv. Metoda indică și calea pentru determinarea intensității luminoase medii sferice pentru sursele simetrice.

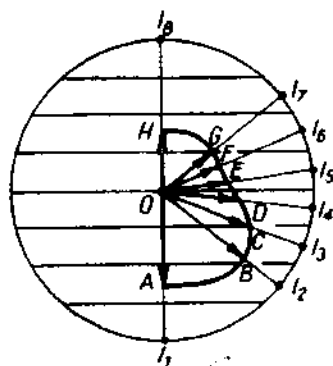


Fig. 2.13. Construirea unghiurilor solide egale

2.4. ILUMINAREA

Pentru a putea fi văzute, corpurile din natură trebuie să emită radiații luminoase. Sub acest aspect corpurile se clasifică în două categorii. Din prima categorie fac parte corpurile care produc ele însele lumina, transformînd o anumită formă de energie (cea electrică) în energie luminoasă; aceste corpuri sînt sursele sau

izvoarele de lumină. A doua categorie, cea mai numeroasă, o constituie corpurile care nu produc energie luminoasă; ele reflectă sau transmit o parte din fluxul luminos care cade asupra lor. Rezultă că cea de-a doua categorie de corpuri, pentru a fi văzute, trebuie să fie iluminate de către o sursă de lumină exterioară.

O informație asupra modului în care sînt iluminate corpurile o dă mărimea fotometrică denumită *iluminare*, care reprezintă raportul între fluxul luminos $\Delta\Phi$ care cade pe o anumită suprafață și mărimea ΔS a acestei suprafețe:

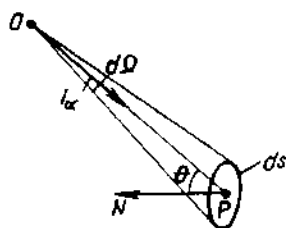
$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}. \quad (2-34)$$

Iluminarea se măsoară deci în aceleași unități ca și emitanța (vezi par. 2.2.1.), în luchi.

Relația (2-34) definește iluminarea medie a suprafeței ΔS ; presupunînd că suprafața ΔS tinde continuu spre zero în jurul unui punct, iluminarea în punctul respectiv rezultă sub forma:

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (2-35)$$

În relațiile de mai sus, iluminarea este exprimată în funcție de fluxul luminos; ea poate fi însă exprimată și în funcție de intensitatea luminoasă. În acest scop se consideră sursa punctiformă O care iluminează suprafața dS așezată în punctul P (fig. 2.14); fluxul luminos care cade pe suprafața dS este:



$$d\Phi = E dS. \quad (2-36)$$

Fluxul luminos $d\Phi$ poate fi exprimat (v. rel. 2-14) în funcție de intensitatea luminoasă pe direcția care unește sursa O cu elementul de suprafață dS sub forma:

$$d\Phi = I_a d\Omega, \quad (2-37)$$

unde $d\Omega$ este unghiul solid sub care se vede suprafața dS din punctul O . Rezultă:

$$E = I_a \frac{d\Omega}{dS}. \quad (2-38)$$

Unghiul solid $d\Omega$ poate fi exprimat însă sub forma:

$$d\Omega = \frac{dS'}{l^2} = \frac{dS \cos \theta}{l^2}, \quad (2-39)$$

unde $dS' = dS \cos \theta$ este proiecția suprafeței dS pe un plan perpendicular pe raza OP ; θ este unghiul dintre raza OP și normala la suprafața dS , iar l - distanța OP . Rezultă:

$$E = \frac{I_a \cos \theta}{l^2}, \quad (2-40)$$

Fig. 2.14. Definirea iluminării

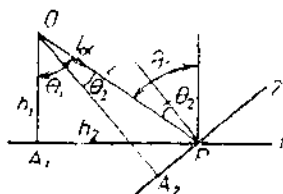


Fig. 2.15. Iluminarea într-un punct aflat în planuri de diferite înclinări

relație care se aplică foarte frecvent în calculele fotometrice. Ea scoate în evidență faptul că iluminarea într-un punct dat al unui plan este proporțională cu cosinusul unghiului format de raza de lumină care cade în punctul respectiv și normala dusă la plan; de asemenea, iluminarea este invers proporțională cu pătratul distanței de la sursă la punctul în care ea se determină.

Fie sursa O care iluminează punctul P aflat în planul I (fig. 2.15); iluminarea corespunzătoare este :

$$E_1 = \frac{I_a \cos \theta_1}{r^2} = \frac{I_a h_1}{r^3} \quad (2-41)$$

Dacă planul se rotește în jurul unei drepte care trece prin punctul P , ajungînd în poziția 2, iluminarea în punctul P devine :

$$E_2 = \frac{I_a \cos \theta_2}{r^2} = \frac{I_a h_2}{r^3} \quad (2-42)$$

Comparînd relațiile (2-41) și (2-40) se poate scrie în general că :

$$\frac{E_1}{h_1} = \frac{E_2}{h_2} = \dots = \frac{I}{r^3} = \text{ct.} \quad (2-43)$$

Este important de reținut faptul că iluminarea într-un punct oarecare depinde de planul în care se consideră situat punctul respectiv.

2.5. LUMINANȚA

Datorită poziției diferite, față de ochi, pe care o ocupă obiecte de aceeași culoare și iluminate asemănător, ele pot fi distinse unele de altele, apărînd mai mult sau mai puțin strălucitoare.

Ansamblul condițiilor fotometrice și geometrice care permit perceperea obiectelor și distingerea lor este caracterizat printr-o mărime fotometrică denumită *luminanță* (strălucire).

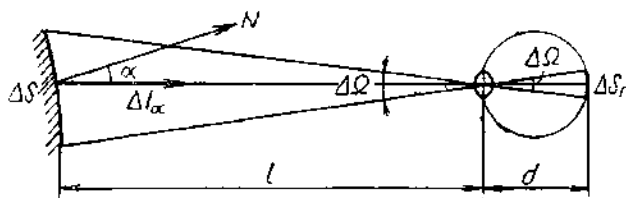


Fig. 2.16. Definierea luminanței ca mărime ce determină iluminarea retinei omului

Figura 2.16 înfățișează suprafața ΔS a unui corp oarecare privit de către ochiul unui observator. Intensitatea senzației luminoase produse depinde de iluminarea retinei E_r , care poate fi exprimată prin relația :

$$E_r = \frac{\Delta\Phi_r}{\Delta S_r}, \quad (2-44)$$

unde $\Delta\Phi_r$, este fluxul luminos ce cade pe retină, iar ΔS_r — suprafața acesteia. Fluxul $\Delta\Phi_r$ este proporțional cu fluxul luminos ce cade pe pupilă $\Delta\Phi_p$, coeficientul de proporționalitate τ — coeficientul de transmisie al materialelor pe care razele de lumină le parcurge în drumul său prin ochi (umoare apoasă, cristalin, umoare sticloasă) — fiind evident subunitar :

$$\Delta\Phi_r = \tau\Delta\Phi_p. \quad (2-45)$$

Pe de altă parte, fluxul luminos $\Delta\Phi_p$ poate fi exprimat prin iluminarea pupilei E_p și suprafața acesteia ΔS_p sub forma :

$$\Delta\Phi_p = E_p \Delta S_p. \quad (2-46)$$

În fine, ținând seama de faptul că atunci cînd ochiul privește un obiect, el se orientează în spațiu astfel încît planul pupilei să fie perpendicular pe direcția razei luminoase, adică unghiul θ dintre direcția razei luminoase și normala la planul pupilei este zero, iluminarea pupilei poate fi exprimată (v. rel. 2-40) sub forma :

$$E_p = \frac{\Delta I_a}{l^2}, \quad (2-47)$$

unde ΔI_a este intensitatea luminoasă pe direcția ce unește suprafața ΔS cu ochiul, iar l este distanța dintre cele două elemente.

Folosind relațiile (2-44) ... (2-47), se obține :

$$E_r = \frac{\tau \Delta S_p}{\Delta S_r} \frac{\Delta I_a}{l^2}. \quad (2-48)$$

Pe de altă parte, egalînd expresiile unghiurilor solide $\Delta\Omega$ opuse la vîrf, se obține :

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S \cos \alpha}{l^2} = \frac{\Delta S_r}{d^2}, \quad (2-49)$$

α fiind unghiul dintre raza de lumină ce unește suprafața ΔS cu ochiul și normala la ΔS , iar d — „diametrul” ochiului (fig. 2.16). Înlocuind în relația (2-48) rezultă :

$$E_r = \frac{\tau \Delta S_p}{d^2} \frac{\Delta I_a}{\Delta S \cos \alpha}. \quad (2-50)$$

Iluminarea retinei apare ca un produs a doi factori: primul factor conține mărimi care depind numai de caracteristicile ochiului observatorului ($\tau, \Delta S_p, d$); cel de-al doilea factor:

$$L_a = \frac{\Delta I_a}{\Delta S \cos \alpha} \quad (2-51)$$

caracterizează sursa de lumina și proprietatea ei de a fi văzută (de a produce o iluminare a retinei) dintr-un punct dat (în care se găsește ochiul observatorului), sau mai bine zis dintr-o anumită direcție (ce formează un unghi α cu normala la suprafață). Mărimea L_a se numește *luminanță* și, după cum se vede, ea reprezintă raportul dintre intensitatea luminoasă a unei suprafețe după o anumită direcție și proiecția acelei suprafețe pe un plan normal la direcția dată.

Luminanța dată de expresia (2-51) este o valoare medie; valoarea luminanței unui punct al suprafeței emițătoare pe o anumită direcție se determină prin reducerea continuă a suprafeței ΔS în jurul punctului considerat, adică:

$$L_a = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta I_a}{\Delta S \cos \alpha} = \frac{dI_a}{dS \cos \alpha}. \quad (2-52)$$

Luminanța se măsoară în candel pe metru pătrat sau niți [nt]. Se mai utilizează încă o unitate de 10^4 mai mare decât nitul, denumită *stilb* (1 sb = 1 cd/cm²).

Expresia (2-51) a luminanței permite aprecierea ei pe altă cale. Iluminarea pupilei ochiului aflat în punctul M , determinată de suprafața luminoasă ΔS (fig. 2.17) este:

$$\Delta E = \frac{\Delta I_a}{r^2}. \quad (2-53)$$

Exprimînd pe I_a din relația (2-49) și înlocuind în (2-53), se obține:

$$\Delta E = \frac{\Delta I_a}{\Delta S \cos \alpha} = \Delta \Omega L_a,$$

de unde rezultă:

$$L_a = \frac{\Delta E}{\Delta \Omega} \text{ sau } L_a = \frac{dE}{d\Omega}. \quad (2-54)$$

Prin urmare, luminanța pe o anumită direcție este derivata iluminării într-un punct aflat pe direcția respectivă și într-un plan normal pe direcția dată în raport cu unghiul solid, al cărui vîrf se găsește în punctul considerat.

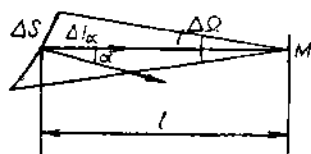


Fig. 2.17. Luminanța ca derivată iluminării în raport cu unghiul solid

2.6. REFLEXIA, TRANSMISIA ȘI ABSORBȚIA FLUXULUI LUMINOS. MATERIALE

Fluxul luminos Φ_i care cade asupra suprafeței unui corp este în parte absorbit, reflectat, respectiv transmis prin aceasta. Principiul conservării fluxului luminos permite scrierea relației :

$$\Phi_i = \Phi_a + \Phi_r + \Phi_t, \quad (2-55)$$

unde Φ_a este fluxul luminos absorbit, Φ_r – fluxul luminos reflectat, iar Φ_t – fluxul luminos transmis. Relația (2-55) este echivalentă cu

$$\alpha + \rho + \tau = 1, \quad (2-56)$$

unde :

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i}, \quad \rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}, \quad \tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \quad (2-57)$$

sînt respectiv factorul de absorbție, de reflexie și de transmisie al corpului. α , ρ și τ sînt mărimi pozitive și subunitare.

La unele corpuri, factorii fotometrici α , ρ și τ sînt funcții de lungimea de undă λ ; asemenea corpuri, iluminate cu lumină albă, apar colorate în culoarea pentru care ρ (sau τ) au valori mai mari, de aceea ele se numesc *corpuri colorate*. La *corpurile necolorate* α , ρ și τ sînt independente de lungimea de undă a radiațiilor luminoase; aceste corpuri apar colorate în aceleași nuanțe cu cele ale fluxului luminos incident.

2.6.1. REFLEXIA FLUXULUI LUMINOS

În funcție de proprietățile suprafeței pe care cade lumina, reflexia se produce în mod *regulat* sau *difuz*.

În cazul *reflexiei regulate* fenomenele se produc conform legilor cunoscute din optică (fig. 2.18) :

- raza incidentă, normală la suprafață în punctul de incidență și raza reflectată se găsesc în același plan;
- unghiul de incidență i este egal cu unghiul de reflexie r .

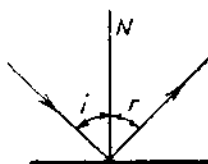


Fig. 2.18. Reflexia regulată

Elementele optice care utilizează principiul reflexiei regulate se numesc *oglinzi*. Acestea se execută în general din metale (crom, nichel, argint) cu suprafața șlefuită, coeficientul lor de reflexie variind între 0,6...0,95. Oglinzile din sticlă argintată sau din sticlă cu amalgam de mercur asigură pentru ρ valori cuprinse între 0,7...0,85; ele prezintă fenomenul dublei sau multiplei reflexii (fig.2.19), care uneori se manifestă dezavantajos.

Luminanța pe direcția razei incidente L_i și luminanța pe direcția razei reflectate L_r sînt legate între ele prin relația :

$$L_r = \rho L_i, \quad (2-58)$$

căci :

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} = \frac{I_r \Delta \Omega_r}{I_i \Delta \Omega_i} = \frac{L_r \Delta S_r \Delta \Omega_r}{L_i \Delta S_i \Delta \Omega_i} = \frac{L_r}{L_i},$$

unde $\Delta S_r = \Delta S_i$ reprezintă proiecția, pe un plan normal la raza vizuală, a suprafeței imaginii sursei, iar $\Delta \Omega_r = \Delta \Omega_i$ — unghiul solid care cuprinde fluxul reflectat (incident).

Rezultă că imaginea reflectată are întotdeauna luminanța mai mică decît sursa de lumină.

În cazul *reflexiei difuze* fiecărei raze incidente îi corespund o infinitate de raze reflectate, îndreptate în toate direcțiile ce pot fi duse din punctul de incidență în semispațiul delimitat de planul tangent la suprafața reflectantă în acest punct, de aceeași parte cu raza incidentă.

Prin urmare, în cazul reflexiei difuze, imaginea sursei de lumină poate fi văzută din oricare punct al semispațiului amintit ; luminanța acestuia însă depinde de direcția razei vizuale.

Conform modului de repartizare în spațiu a luminanțelor reflectate, reflexia difuză are un caracter perfect difuz, regulat difuz sau mixt (fig. 2.20).

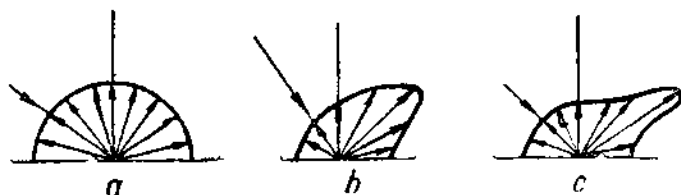


Fig. 2.20. Reflexia difuză : a — perfect difuză ; b — regulat difuză ; c — mixtă

În cazul *reflexiei perfect difuze*, luminanța imaginii sursei este constantă ca valoare pentru toate direcțiile. Locul geometric al vectorilor luminanță este o emisferă cu centrul în punctul de incidență (fig. 2.20,a). Folosind relația (2-51) de definiție a luminanței, în care se pune $L_a = L = \text{ct}$, intensitatea luminoasă a suprafeței mici ΔS pe o direcție ce face unghiul α cu normala la suprafața perfect difuzantă este :

$$I_a = \int_{\Delta S} L \, dS \cos \alpha = L \cos \alpha \int_{\Delta S} dS = L S \cos \alpha;$$

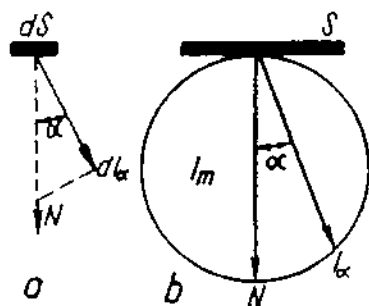


Fig. 2.21. Curba fotometrică a unei suprafețe perfect difuzante

pentru $\alpha=0$:

$$I_{\alpha=0} = I_m = L \Delta S, \quad (2-59)$$

asa încît:

$$I_{\alpha} = I_m \cos \alpha. \quad (2-60)$$

Înseamnă că, la suprafețele perfect difuzante, intensitatea luminoasă variază după o lege cosinusoidală, denumită *legea corpurilor perfect difuzante* (sau *legea lui Lambert*). Curba fotometrică a suprafețelor perfect difuzante este un cerc de diametru I_m (fig. 2.21).

Relația (2-23) permite calculul fluxului luminos emis (reflectat) de o suprafață perfect difuzantă. Ținînd seama de (2-60), fluxul luminos rezultă:

$$\Phi_r = 2\pi \int_0^{\pi/2} I_{\alpha} \sin \alpha \, d\alpha = 2\pi \int_0^{\pi/2} I_m \cos \alpha \sin \alpha \, d\alpha = \pi I_m. \quad (2-61)$$

La calcule s-a observat că, pentru $\pi/2 < \alpha < \pi$, $I_{\alpha}=0$, conform figurii 2-21.

Pe de altă parte, fluxul luminos incident se poate scrie în funcție de iluminare sub forma:

$$\Phi_i = E \Delta S. \quad (2-62)$$

Împărțind relația (2-61) la (2-62), se obține:

$$\frac{\Phi_r}{\Phi_i} = \rho = \frac{\pi I_m}{E \Delta S} = \frac{\pi L}{E},$$

sau

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad \text{și} \quad L = \frac{M}{\pi}, \quad (2-63)$$

unde s-a observat (2-57). Rezultă că luminanța unei suprafețe perfect difuzante este proporțională cu iluminarea E a acesteia, respectiv cu emitanța ei M .

În cazul *reflexiei regulate difuze* (fig. 2.20, b), fluxul luminos reflectat este concentrat în jurul direcției razei reflectate, care corespunde reflexiei regulate. Suprafața—loc geometric al vîrfurilor vectorilor luminanță se apropie de cea a unui elipsoid cu axa mare pe direcția razei reflectate regulate.

Reflexia mixtă apare ca o suprapunere a reflexiei perfect difuze și a celei regulate difuze (fig. 2.20, c). Suprafața—loc geometric al vîrfurilor vectorilor luminanță este o emisferă deformată în afară pe direcția razei reflectate regulate.

Repartizarea luminanței în spațiu se descrie cu ajutorul *coeficientului de luminanță* c_l . Coeficientul de luminanță al unei suprafețe difuzante, după o

direcție oarecare, reprezintă raportul dintre luminanța L pe direcția respectivă și luminanța L_0 a unei suprafețe perfect difuzante, avînd coeficientul de reflexie egal cu unitatea și fiind iluminată cu aceeași iluminare ca și suprafața dată :

$$c_l = \frac{L}{L_0} \quad (2-64)$$

Conform relației (2-63) :

$$L_0 = \frac{I}{\pi} E ; \quad (2-65)$$

prin urmare luminanța pe o anumită direcție :

$$L = c_l L_0 = \frac{c_l}{\pi} E. \quad (2-66)$$

În cazul general $c_l = f(\alpha, \beta)$, α și β fiind unghiurile de înălțime, respectiv de azimut (fig. 2.9). În cazul suprafețelor perfect difuzante, comparînd relația (2-63) cu (2-65) rezultă :

$$c_l = \rho, \quad (2-67)$$

independent de direcția considerată.

Reflexia difuză se realizează pe suprafețe metalizate prin stropire sau vopsire cu aluminiu, precum și pe suprafețele materialelor de construcție (var, zugrăveli, ipsos) ; suprafețele care în principiu au reflexie regulată, dar profilul lor este neregulat (ondulate, încrețite, striate, gravate, givrate, sablate, mătuite etc.) dau o reflexie difuză cu atît mai predominantă cu cît neregularitățile sînt mai mici.

În tabelul 2.2 sînt date valori orientative pentru coeficienții de reflexie ai unor elemente de construcție des întrebuițate.

Tabelul 2.2

Coeficienți de reflexie	
Natura suprafețelor reflectante	ρ [%]
Tavan spoit alb Pereți spoiti în alb și ferestre acoperite cu storiuri albe	70
Tavan din beton curat sau din lemn de culoare deschisă Tavan spoit în alb în încăperi umede Pereți spoiti în alb și ferestre neacoperite	50
Tavan din beton în încăperi murdare Tavan din lemn Pereți din beton cu ferestre Pereți cu tapet de culoare închisă	30
Tavan și pereți din beton și lemn în încăperi cu conținut abundent de praf de culoare închisă Ferestre cu un singur geam fără storiuri Pereți din cărămidă roșie netencuită	10

2.6.2. TRANSMITEREA FLUXULUI LUMINOS

Analiza efectuată în legătură cu reflexia fluxului luminos este valabilă și pentru cazul transmiterii acestuia prin pereți subțiri, dacă se ține seama de faptul că rolul razei de lumină reflectate este preluat de raza transmisă. Raza

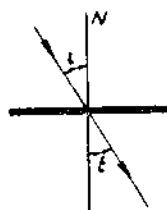


Fig. 2.22. Transmiterea regulată

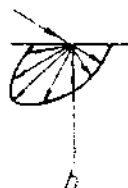
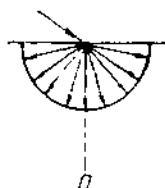


Fig. 2.23. Transmiterea difuză: a — perfect difuză; b — regulat difuză; c — mixtă

incidentă și raza (sau razele) transmisă se găsesc de o parte și de alta a peretelui transmițător.

În mod analog deci, se pot studia *transmiterea regulată* (fig. 2.22) și *transmiterea difuză* (fig. 2.23). Trebuie observat că în general transmiterea de lumină este însoțită de o reflexie; de asemenea, raza de lumină emergentă (transmisă) este totdeauna deplasată față de raza incidentă, din cauza fenomenelor de refracție care au loc în grosimea finită a peretelui.

Evident, cele arătate în legătură cu coeficientul de luminanță sînt valabile și pentru cazul transmiterii luminii. În general, se poate vorbi de coeficientul de luminanță al unei suprafețe emițătoare de lumină, indiferent de natura sau de poziția sursei de lumină. De aceea, coeficientul de luminanță caracterizează nu numai suprafețele reflectante și transmițătoare, ci și sursele de lumină propriu-zise (filamentele lămpilor cu incandescență, suprafețele tuburilor fluorescente etc.).

Drept materiale transmițătoare se folosesc în tehnica iluminatului sticlele (clare, opalescente, mate, lăptoase), materiale sintetice (polistiren, policlorvinil, plexiglas), marmura, alabastrul, hîrtia și materiale textile. Pentru obținerea efectului difuzant, suprafața sticlei se realizează cu neregularități (sticla mată) sau în perete sînt cuprinse particule care reflectă lumina în toate direcțiile (sticla lăptoasă).

2.7. SURSE ELECTRICE DE LUMINĂ

Ținînd seama de cele arătate în subcapitolul 2.1, sursele electrice de lumină (lămpile electrice) pot fi clasificate în trei mari categorii, conform modului de transformare a energiei electrice în energie luminoasă.

1. Lămpi cu incandescență, la care energia electrică servește încălzirii filamentului la o temperatură pentru care radiațiile emise posedă un anumit conținut de radiații luminoase.

2. Lămpi cu descărcări electrice în gaze și vapori metalici, la care radiațiile luminoase apar ca urmare a fenomenelor de excitare și dezexcitare a particulelor (electroluminiscență), împreună cu sau în lipsa fenomenelor de fotoluminiscență.

3. Lămpi cu arc, în care lumina apare atât sub forma unor radiații termice, cât și a efectelor de electroluminiscență.

Studiul lămpilor se face în mai mică măsură sub aspect constructiv, adâncindu-se mai mult elementele privitoare la performanțele lor. De asemenea, funcționarea lămpilor este pusă în legătură cu eventualele elemente ce se găsesc în circuitul lor electric.

2.7.1. LĂMPI CU INCANDESCENȚĂ

Construcția unei lămpi electrice cu incandescență obișnuite și elementele constitutive ale acesteia sînt redate în figura 2.24. Balonul de sticlă închide o cavitate cu vid înăntat sau umplută cu un gaz inert (azot sau amestec de azot și argon). Filamentul lămpii, construit din wolfram, se execută simplu sau dublu spiralat (fig.2.25). Alimentarea lui cu energie electrică se realizează

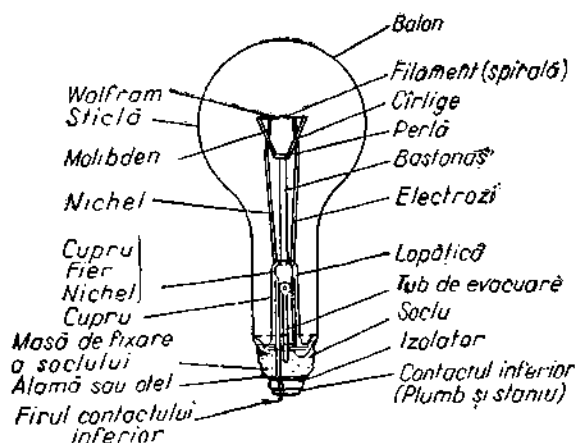


Fig. 2.24. Lampă cu incandescență.

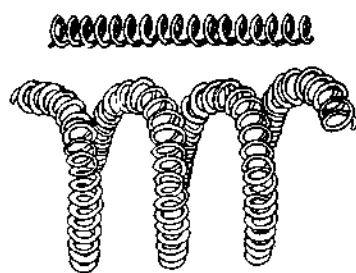


Fig. 2.25. Filamente de wolfram simplu și dublu spiralate

prin doi electrozi care sînt legați la soclu; la trecerea acestora prin sticlă sînt luate măsuri pentru a se menține etanșeitatea balonului în cursul variațiilor de temperatură. Filamentul este susținut, în afară de electrozi, de niște cîrlige de molibden fixate de extremitatea bastonașului de sticlă din lampă.

Gazul din balonul lămpii are menirea de a reduce viteza de volatilizare a filamentului: particulele de wolfram ce se desprind de pe filament la tempe-

ratură înaltă, se ciocnesc de moleculele gazului și în parte cad din nou pe filament.

La construcția filamentului se folosește wolframul, metal cu punct de topire ridicat (3 650°K); mici cantități de oxid de thoriu se adaugă pentru a îmbunătăți calitățile mecanice ale filamentului. În aceste condiții temperatura filamentului atinge 3 000°K, îmbunătățindu-se simțitor eficacitatea luminoasă a lămpilor incandescente.

Spiralizarea filamentului conduce la încetinirea în mai mare măsură a evaporării metalului și la micșorarea pierderilor de căldură prin atmosfera gazoasă. Aceste efecte sînt și mai evidente la filamentele dublu spiralate.

Datorită întrebuințării în cele mai diferite domenii, lămpile cu incandescență se execută în numeroase forme constructive. Ele pot fi clasificate din următoarele puncte de vedere.

- După puterea lor nominală, care variază între zecimi de watt pînă la 1 000 W și mai mult.

- După tensiunea de alimentare — cîțiva volți, 12 și 24 V (tensiune joasă), 110 și 220 V (tensiune normală).

- După forma balonului de sticlă (pară, sferă, ciupercă, luminare, tubulare (sofite)) etc.

- După materialul și modul de construcție a balonului (oglindate, clare, mate, opaline).

- După tipul soclului (cu filet Edison sau baionetă).

- După destinație (obișnuite, pentru vehicule, rezistente la trepidații, pentru proiectoare, pentru scala aparatului de radio, pentru lanterne, pentru semnalizare optică etc.).

Lămpile cu incandescență se caracterizează prin anumite performanțe, care rezultă din principiile fizice de funcționare a lor și felul construcției.

Eficacitatea luminoasă a lămpilor cu incandescență este relativ scăzută, pentru că din puterea absorbită numai circa 7—13% este radiată în domeniul vizibil; restul este, fie emis în domeniul invizibil al spectrului (68—86%), fie constituie pierderi termice (7—22%). De aceea eficacitatea luminoasă are valori între 8—20 lm/W.

Durata de funcționare (de viață) a lămpii corespunde momentului cînd filamentul ei se întrerupe (se „arde”). La lămpile de construcție obișnuită durata de funcționare este de minimum 1 000 ore.

Durata utilă a lămpii este definită ca intervalul de timp de funcționare în care fluxul luminos scade la 80% din valoarea lui inițială. Astăzi, în general, durata utilă a lămpilor cu incandescență este egală cu durata lor de viață.

Arderea filamentului și scăderea fluxului luminos al lămpii în cursul funcționării sînt determinate de volatilizarea wolframului. Acest fenomen conduce la depunerea de wolfram pe pereții interiori ai balonului, ceea ce determină micșorarea în timp a fluxului luminos emis; pe de altă parte, în anumite puncte secțiunea filamentului se micșorează în mai mare măsură, încălzirea locală a filamentului crește mult și acesta se arde.

În ultimul timp au apărut lămpi speciale care micșorează simțitor viteza de evaporare a filamentului, asigurând totodată o autocurățire a balonului de stratul de wolfram depus. Este vorba de lămpile cu halogeni, cea mai răspândită fiind lampa cu iod. Atmosfera din lampă conține cantități bine determinate de iod; iodul formează cu wolframul depus pe balon (care se află la o temperatură relativ scăzută) o iodură volatilă, care în apropierea filamentului (deci la temperatură ridicată) se descompune în iod și wolfram. Acesta din urmă se depune din nou pe filament. Se vede că lămpile cu iod realizează un ciclu de regenerare, transportând dinspre balon spre filament wolframul care se deplasează de la filament la balon datorită evaporării. În afară de durata utilă și de funcționare mult mai mari, lămpile cu iod asigură o eficacitate luminoasă cu circa 30% mai mare și au dimensiuni mult mai mici decât lămpile obișnuite.

Luminanța lămpii cu incandescență (a filamentului) este foarte mare (0,02...0,12 nt) datorită dimensiunilor relativ mici ale suprafeței emise. Micșorarea luminanței prin executarea balonului din material mat sau lăptos, deci cu transmisie difuză, se reflectă nefavorabil asupra eficacității luminoase a lămpii.

Compoziția spectrală a fluxului luminos al lămpilor cu incandescență este relativ bogată în radiații cu lungimi de undă mari (radiații calde) — roșu, galben și mai săracă în radiații reci — albastru, violet (fig. 2.26). De aceea lumina incandescentă deformează într-o anumită măsură culorile.

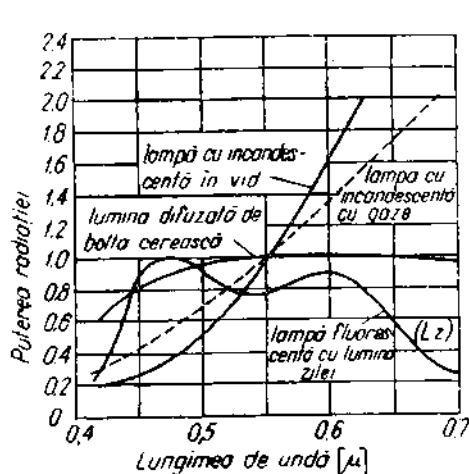


Fig. 2.26. Curbe spectrale pentru diferite izvoare luminoase

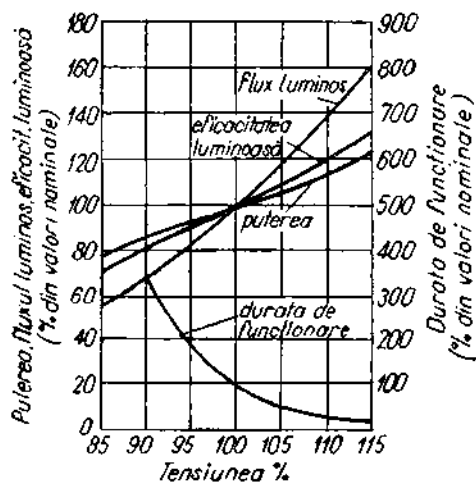


Fig. 2.27. Variația cu tensiunea de alimentare a parametrilor funcționali ai lămpilor cu incandescență

Toți parametrii lămpilor cu incandescență prezintă o dependență foarte accentuată față de tensiunea de alimentare. Modificarea tensiunii de alimentare față de valoarea ei nominală conduce la modificări în același sens ale tempera-

turii filamentului ; ca urmare, cu creșterea tensiunii cresc mult puterea absorbită, fluxul luminos emis și eficacitatea luminoasă ; în schimb, durata de viață a lămpii scade foarte repede (fig. 2.27.) Totodată, creșterea tensiunii de alimentare conduce la creșterea ponderii radiațiilor reci (albastre și violete), lumina lămpii cu incandescență apropiindu-se de lumina zilei.

Scăderea tensiunii de alimentare determină micșorarea fluxului luminos emis și mai ales a radiațiilor reci ; lumina emisă este roșiatică.

Datorită sensibilității accentuate pe care lămpile cu incandescență o prezintă față de abaterile de tensiune, normele românești limitează variațiile admisibile ale tensiunii de alimentare la valori sub 3% față de tensiunea nominală.

2.7.2. LĂMPI CU DESCĂRCĂRI ELECTRICE ÎN GAZE ȘI VAPORI METALICI

Lămpile cu descărcări se clasifică, în funcție de zona din tub a cărei emisie luminoasă este folosită, în *lămpi cu lumină catodică* și *lămpi cu coloană pozitivă*. Ele se mai pot încadra, conform izvorului efectiv de producere a luminii, în lămpi cu descărcări propriu-zise și lămpi fotoluminiscente (fluorescente). În fine, lămpile cu descărcări propriu-zise se clasifică după natura mediului în care are loc descărcarea.

2.7.2.1. Lămpi cu lumină catodică. Lămpile luminescente cu lumină catodică folosesc radiațiile luminescente ale zonei catodice care se formează între doi electrozi foarte apropiați, astfel încât coloana pozitivă să fie eliminată (vezi par. 3.3.1). Descărcarea se produce într-o atmosferă gazoasă formată din neon și heliu la o presiune de 5–25 mm Hg, de aceea lumina conține radiațiile roșii ale neonului și pe cele galbene ale heliului. Electrozii sînt realizați din fier sau aluminiu, acoperiți cu compuși de bariu.

Aceste lămpi, de puteri mici (cîțiva wați), emit un flux luminos de ordinul lumenului. Datorită faptului că sînt practic lipsite de inerție luminoasă, lămpile cu lumină catodică se folosesc pentru semnalizare, control, sincronizare etc.

2.7.2.2. Lămpi cu coloană pozitivă. Lămpile cu coloană pozitivă se realizează sub formă de tuburi de lungime potrivită, îndoite astfel încît să formeze contururi de litere sau de obiecte ; sub această formă tuburile se folosesc pentru realizarea firmelor luminoase, reclamelor luminoase etc. Alimentarea lor se face prin doi electrozi așezați la capete ; descărcarea luminescentă are loc într-o atmosferă de argon, neon, mercur sau amestecuri ale acestora, rezultînd diverse culori, a căror varietate poate fi mărită prin construcția potrivită a tuburilor din sticlă. Presiunea în tub variază între 1–10 mm Hg ; lungimea tubului poate fi oricît de mare, evident odată cu creșterea lungimii fiind necesară aplicarea unei tensiuni între electrozi mărită proporțional.

Pentru stabilizarea descărcării, alimentarea tuburilor se face de la transformatoare cu dispersie, care posedă o caracteristică tensiune secundară – curent căzătoare. De aceea, chiar dacă tensiunea secundară în gol depășește 6 kV, în sarcină ea coboară sub această limită, care reprezintă valoarea maximă a ten-

siunii admise de către norme. Intensitatea câmpului electric în tub, la aprindere, este cuprinsă între 400 și 2 000 V/m, iar curentul prin tub — 25 — 30 mA, date care servesc la dimensionarea instalației. Eficacitatea luminoasă a tuburilor este cuprinsă între 2 — 18 lm/W.

2.7.2.3. Lămpi cu vapori de mercur. Fluxul luminos al lămpilor cu vapori de mercur se datorește radiațiilor monocromatice emise în cursul descărcărilor electrice care au loc într-un tub conținând asemenea vapori. Alături de radiațiile vizibile, are loc o radiație puternică pe lungimea de undă cuprinsă în domeniul ultraviolet (v. par. 2.1.2).

Radiația luminoasă a lămpilor cu vapori de mercur este bogată în lumină rece, de lungime de undă mică, și relativ săracă în radiații calde. De aceea lămpile cu vapori de mercur alterează culorile obiectelor și ca atare folosirea lor se mărginește la domeniile în care distingerea culorilor este fără importanță (studiouri cinematografice și fotografice, instalații de heliografieri sau în iluminatul public).

Trebuie remarcat că, cu creșterea presiunii în tub, compoziția spectrală a fluxului luminos se îmbunătățește datorită apariției unor radiații de lungime de undă corespunzătoare zonei calde a spectrului vizibil și în general creșterii ponderii acestor radiații. Cu toate acestea, chiar și lămpile de înaltă presiune, care sînt indicate pentru iluminatul public, sînt complet lipsite de radiații roșii.

Cu creșterea presiunii vaporilor de mercur se modifică și eficacitatea luminoasă a lămpilor, conform figurii 2.28. Corespunzător celor două zone ale curbei, în care eficacitatea luminoasă are valori mai mari, lămpile cu vapori de mercur se clasifică în lămpi de joasă presiune (sub 100 N/m^2) și lămpi de înaltă presiune ($1 \dots 200 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$), acestea din urmă fiind la rîndul lor împărțite în lămpi de medie (circa 10^5 N/m^2), înaltă ($8 \dots 50 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$) și foarte înaltă presiune ($70 \dots 200 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$).

Construcția lămpilor cu vapori de mercur de diferite presiuni este principal asemănătoare, diferențele rezultă doar ca urmare a eforturilor mecanice mai mari care au loc în elementele lămpilor de înaltă presiune.

Descărcarea se produce în atmosfera conținută într-un tub de sticlă, între doi electrozi. Tubul de sticlă, în afară de rezistență mecanică și etanșeitate, trebuie să asigure și absorbția radiațiilor ultraviolete, care ar putea pericula sănătatea personalului. La aparatele medicinale, dimpotrivă, tubul trebuie să

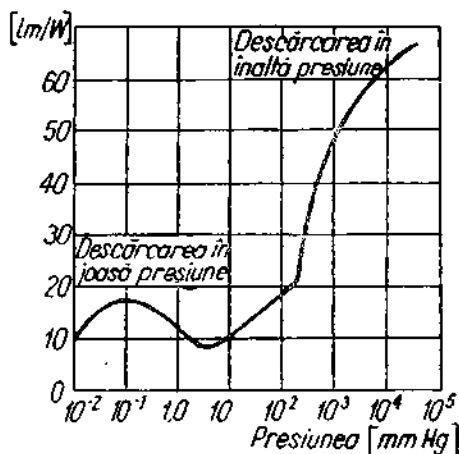


Fig. 2.28. Variația eficacității luminoase cu presiunea din lămpile cu vapori de mercur

* Valorile indicate reprezintă presiunile în cursul funcționării lămpilor ; $10^5 \text{ N/m}^2 \cong 1 \text{ at.}$

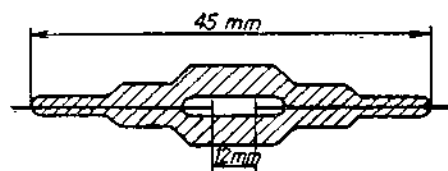


Fig. 2.29. Arzătorul lămpii de foarte înaltă tensiune

două baloane: cel interior, din cuarț, de diametru și lungime reduse (fig. 2.29), denumit *arzător* și cel exterior, al cărui rol este acela de a absorbi radiațiile ultraviolete. În tubul exterior se găsește de exemplu azot, la o presiune de circa 10 N/m^2 . În acest fel, se realizează o protecție pentru cazul în care tubul interior s-ar sparge; de asemenea, izolarea arzătorului de mediul exterior micșorează influența temperaturii mediului asupra procesului de funcționare a lămpii.

fie transparent față de aceste radiații; în asemenea cazuri se folosește cuarțul, care are o temperatură de topire ridicată (1713°C) și un coeficient de transmitere mare în domeniul ultraviolet.

Cu creșterea presiunii din lampă, tubul trebuie să aibă dimensiuni din ce în ce mai mici și pereții tot mai groși. Lămpile de înaltă presiune sînt prevăzute cu

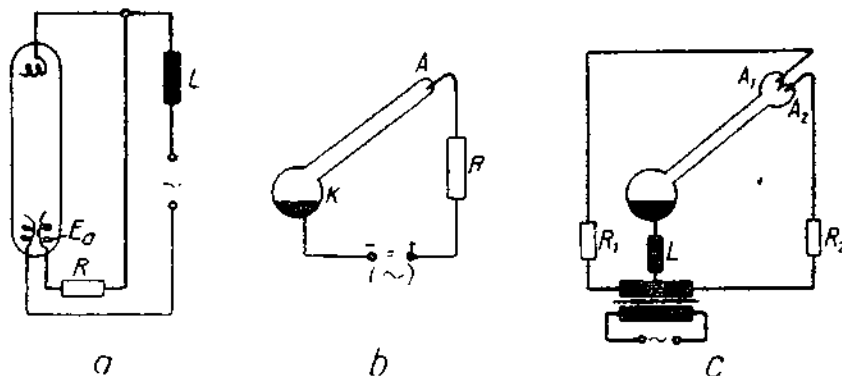


Fig. 2.30. Lampa cu vapori de mercur cu electrozi metalici — a, cu catod din mercur monoanodică — b și bianodică — c; K — catod; A — anod; R — rezistență de balast; L — inductivitate; E_a — electrod auxiliar

Electrozii lămpii sînt de obicei metalici, din wolfram spiralat și acoperit cu oxizi de metale alcalino-pămîntoase. Cîteodată unul dintre electrozi (catodul) se realizează din mercur, ceea ce mărește durata de viață a lămpii. Lămpile cu electrod din mercur, în curent alternativ, conduc numai în semiperioada în care acesta este negativ, deci funcționează în regim redresor. Pentru a folosi ambele alternanțe, uneori lămpile cu catod din mercur se execută bianodice (fig. 2.30). Alimentaarea electrozilor se face, de obicei, prin intermediul unui soclu cu filet Edison.

În general, atmosfera din lămpile cu vapori de mercur conține și o anumită cantitate de gaz nobil (argon, neon), care servește la amorsarea descărcării. În repaus, mercurul se găsește în tub sub forma unor picături condensate pe pereții acestuia. În perioada aprinderii descărcarea este întreținută de ioni

proveniți din adaosul de gaze ; pe măsura încălzirii coloanei descărcării, mercurul se vaporizează și treptat ionii de mercur preiau descărcarea electrică prin tub. Acest lucru se explică prin faptul că potențialul de ionizare al mercurului (10,43 V) este mai mic decât al gazelor (neon — 16,7 V ; argon — 15,7 V ; heliu — 24,5 V). Durata amorsării reprezintă 5—10 minute.

Aprinderea tubului se realizează cu ajutorul electrodului auxiliar E_a din figura 2.30, *a*. Acesta se găsește foarte aproape de electrodul de semn contrar, deci intensitatea câmpului electric între cei doi electrozi este mare și au loc procese de ionizare prin șoc (v. par. 3.3.1.). Pe măsura difuziei ionilor în tub descărcarea trece între electrozii principali, căci rezistența conectată în serie cu electrodul auxiliar E_a limitează curentul prin circuitul acestui electrod la o valoare mult inferioară celui prin circuitul electrozilor principali, cu care este legat în paralel.

În alte cazuri, amorsarea se realizează pe seama unei supratensiuni mari, realizate într-un circuit oscilant și aplicate între electrozii principali sau între unul dintre aceștia și un electrod auxiliar.

Pentru stabilizarea descărcării, lămpile cu vapor de mercur se conectează în serie cu o inductivitate sau o rezistență de balast (fig. 2.30, *b*) ; circuitul lămpilor cu electrod de mercur trebuie să conțină o rezistență de balast, pentru limitarea componentei continue a curentului redresat.

Luminanța lămpilor cu vapor de mercur este mare și crește cu presiunea vaporilor. Acest lucru se explică ușor ținându-se seama de micșorarea dimensiunilor arzătorului, deci ale coloanei strălucitoare, cu creșterea presiunii. Luminanța lămpilor variază între $(2-10) 10^6$ nt la presiuni de $(1-10) 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ și atinge $(100-1\,000) 10^6$ nt la presiuni de $(100-200) 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. Evident, luminanța crește la mărirea intensității curentului descărcării.

Pentru reducerea efectului de orbire, unele lămpi cu vapor de mercur au balonul exterior executat din sticlă mată, ceea ce însă micșorează eficacitatea luminoasă a lor.

Îmbunătățirea compoziției spectrale a luminii emise de lămpile cu vapor se realizează pe diferite căi. Uneori, în același corp de iluminat, se montează lămpi cu vapor de mercur și lămpi cu incandescență, acestea din urmă emițind tocmai în zona spectrului luminos în care lămpile cu vapor de mercur sînt deficitare. Filamentul de wolfram incandescent se montează cîteodată în serie cu arzătorul, în același balon, realizîndu-se astfel o lampă cu lumină mixtă. Filamentul joacă în asemenea cazuri și rol de rezistență de balast. Balonul exterior al acestor lămpi se execută din sticlă mată sau opală.

Astăzi sînt destul de răspîndite lămpile cu lumină mixtă, care, în afara radiațiilor specifice descărcării în vapor de mercur, emit și radiații fluorescente pe seama luminoforului care acoperă balonul exterior. Luminoforul (fluogermanat de magneziu sau ortovanadat de ytriu) convertește radiațiile ultraviolete ale descărcării în radiații roșii, care se suprapun peste radiațiile vizibile emise de coloana descărcării, rezultînd în ansamblu o lumină albă, foarte apropiată de lumina zilei. Eficacitatea luminoasă a lămpilor cu vapor de mercur în balon fluorescent nu este inferioară celei a lămpii cu vapor de mercur obișnuite.

În fine, pentru ameliorarea compoziției spectrale a luminii emise, s-au realizat lămpi cu descărcări într-o atmosferă cu vapori de mercur amestecați cu ioduri ale unor metale cu potențiale de excitare scăzute (taliu, sodiu sau indiu). Radiațiile emise de vaporii substanțelor adăugate completează spectrul de emisie al vaporilor de mercur, îmbunătățindu-se apreciabil calitatea luminii. Simultan eficacitatea luminoasă crește la 70–75 lm/W.

În comparație cu lămpile cu incandescență, lămpile cu vapori de mercur prezintă avantajul unei eficacități luminoase mai ridicate. De asemenea, durata lor de viață este mai mare (2 000–3 000 ore).

Dezavantajele lămpilor cu vapori de mercur sînt următoarele :

- compoziția spectrală a fluxului luminos lipsită de radiații calde, dezavantaj ce se poate corecta, așa cum s-a arătat mai sus ;
- factor de putere scăzut din cauza bobinei de balast ($\cos \varphi = 0,51 \dots 0,59$). Acest dezavantaj se poate corecta prin folosirea unor condensatoare de compensare, conectate în paralel cu circuitul lămpii (vezi par. 2.7.2.6) ;
- durata mare de amorsare (5–10 minute) față de aprinderea practic instantanee a lămpilor cu incandescență. Acest dezavantaj este și mai pronunțat în cazul stingerii lămpii : pentru reaprindere este necesar un timp suplimentar de circa 3–4 minute, în care lampa trebuie să se răcească ;
- influența mare a temperaturii mediului ambiant asupra performanțelor lămpii : eficacitatea luminoasă a lămpii cu vapori de mercur care funcționează în aer cu temperatura de 0°C reprezintă circa 70% din cea care corespunde temperaturii de 25°C. La temperaturi sub 0°C aprinderea este îngreuiată, mai ales în cazul alimentării cu tensiune sub cea normală.

2.7.2.4. Lămpi cu vapori de sodiu. Fenomenele care au loc în lămpile cu vapori de sodiu sînt analoge celor din lămpile cu vapori de mercur. Lămpile cu vapori

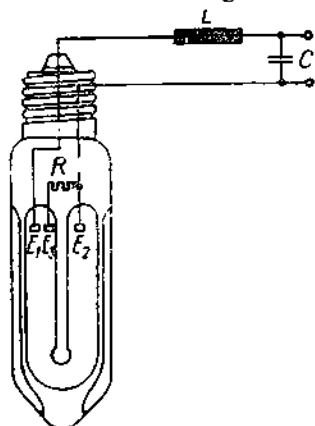


Fig. 2.31. Lampa cu vapori de sodiu : E_1 , E_2 — electrozi principali ; E_3 — electrod auxiliar ; R — rezistență de limitare ; L — inductivitate de balast ; C — condensator de compensare

de sodiu se compun de obicei dintr-un arzător din sticlă rezistentă la acțiunea vaporilor de sodiu, îndoit în formă de U, introdus într-un balon de sticlă cu vid, pentru a se micșora pierderile de căldură (fig. 2.31). În arzător, în afară de sodiu, care în stare rece a lămpii este condensat pe pereți, se găsește argon sau neon sub o presiune de circa 3 mm Hg. Procesul de amorsare a descărcării decurge analog celui care are loc în lămpile cu vapori de mercur : lumina roșie a neonului este înlocuită cu radiațiile galbene ale sodiului, care are potențialele de excitare (2,10 V) și de ionizare (5,10 V) mult mai mici decât ale neonului (16,58 V, respectiv 21,5 V) sau ale argonului (11,57 V, respectiv 15,7 V). Aprinderea lămpii durează 5–10 minute.

Eficacitatea luminoasă foarte mare a lămpilor cu vapori de sodiu (110–150 lm/W) se explică prin faptul că pentru radiațiile monocro-

matice emise ($\lambda=0,5890 \mu$ și $0,5896 \mu$), ochiul omenesc este foarte sensibil ($v_{\lambda} \approx 0,757$). Radiațiile galbene ale lămpii cu vapori de sodiu străbat ceața, de aceea aceste lămpi sînt mult utilizate la iluminatul șoselelor.

Cu creșterea presiunii în lampa cu vapori de sodiu se obține o ameliorare a culorii luminii emise. În prezent se fac cercetări pentru construcția unor lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune, de la care se așteaptă să aibă performanțe foarte bune sub aspectul eficacității luminoase și al culorii.

Ca și lampa cu vapori de mercur, lampa cu vapori de sodiu se intercalează în circuit cu o bobină de balast în serie și o capacitate de compensare în paralel; aprinderea lămpii se realizează cu ajutorul unui electrod auxiliar. Greutățile în folosirea la temperaturi joase se manifestă și la lămpile cu vapori de sodiu, al căror arzător trebuie să se găsească la o temperatură suficient de ridicată (270°C) pentru ca sodiul să fie menținut în stare de vapori.

2.7.2.5. Lămpi cu xenon. Lămpile cu xenon se fabrică sub formă de lămpi cu arc scurt și lămpi cu arc lung.

Lămpile cu arc scurt au puteri mici și mijlocii (o serie de puteri este caracterizată prin valori de 2300/150; 12 000/450; 30 500/900; 60 000/1 600; 100 000/2 500 lumeni/wați). În tub, presiunea atinge valori pînă la 50 at. Luminanța acestor tuburi este foarte mare, de $(9 \dots 72)10^8$ sb. Compoziția spectrală a luminii emise este foarte apropiată de cea a luminii zilei, temperatura de culoare fiind de peste $6\,000^{\circ}\text{K}$. De aceea lămpile cu xenon se folosesc la iluminatul pentru ateliere de proiectare, în studiouri, pentru efecte speciale în teatre.

Lămpile cu arc lung au puteri mai mari, valorile uzuale fiind cele de 1; 2; 5; 10 și 20 kW, dar folosindu-se și lămpi de puteri pînă la 150 kW. Aceste lămpi, așezate în corpuri de iluminat speciale, se utilizează la iluminarea spațiilor largi (piețe, stadioane, triaje, aeroporturi, platforme industriale).

Circuitul electric al lămpilor cu xenon conține, în afara transformatorului de alimentare, o bobină de balast și un starter, care aplică pentru un timp scurt o tensiune de aprindere de 50–70 kV.

2.7.2.6. Lămpi fluorescente. Lămpile fluorescente emit radiații luminoase convertite de către luminofor din radiațiile ultraviolete puternice care caracterizează descărcarea în vapori de mercur.

Lămpile fluorescente se prezintă sub forma unor tuburi lungi, de diametru mic, cu axa dreaptă sau, mai rar, circulară sau în formă de U.

Luminoforul este constituit dintr-un amestec de substanță de bază (fluorescentă), substanță activatoare și fondant.

Substanța de bază, care transformă lungimea de undă a radiațiilor, trebuie să îndeplinească mai multe condiții: să absoarbă întreaga energie ultravioletă și să o convertească în energie luminoasă cu randament cît mai mare; să absoarbă cît mai puțin radiația vizibilă; să aibă o inerție luminoasă mare, pentru a reduce pîlptirea luminii (efectul stroboscopic); să reziste bine efectelor ce au loc în cursul funcționării lămpii; lumina emisă să aibă o compoziție spectrală corespunzătoare. În prezent, ca substanțe fluorescente se folosesc amestecuri potrivite de: silicați de zinc, de zinc și beriliu, de cadmiu, care emit radiații verzi-gălbui,

galbene, portocalii și de culori intermediare; wolframați de magneziu și de calciu care emit lumină albastră; borat de cadmiu, cu fluorescență roșiatică. Halogenofosfații (fosfați de fluor, clor și brom) dau direct lumină albă, cu randament ridicat.

Substanțele activatoare sînt metale grele: cupru, argint, bismut sau pămînturi rare, care se adaugă în cantități foarte mici (0,1 ... 1%) substanței fluorescente și au rolul de a iniția producerea excitației luminoase.

Fondantul — o sare (NaCl , CaF_2 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ etc.) asigură formarea cristalelor complexe ale luminoforului.

Stratul de luminofor pe pereții tubului trebuie să fie suficient de gros pentru a se asigura absorbția întregii radiații ultraviolete, dar îndeajuns de subțire pentru a nu se produce reabsorbția radiațiilor luminoase emise.

În tub se găsește o atmosferă de argon la o presiune de 3—4 mm Hg, precum și cîteva miligrame de mercur. Descărcarea electrică se produce în vaporii de mercur; argonul are rolul de a micșora parcursul liber al electronilor, ceea ce duce la creșterea concentrației de electroni și la intensificarea liniei spectrale de $\lambda = 0,2537\mu$, care joacă un rol activ.

Electrozii tubului, din wolfram, dublu spiralați, sînt așezați la două capete ale acestuia. Ei sînt acoperiți cu oxid de bariu și au capete scoase pentru a putea fi racordați la circuitul exterior.

Prin combinarea corespunzătoare a substanțelor fluorescente, respectiv a caracteristicilor sticlei din care se confecționează tubul, se obțin lămpi cu di-

ferite compoziții spectrale ale luminii emise. În România se produc lămpi conform tabelului 2.3.

Lămpile fluorescente au următoarele caracteristici:

- lămpă cu luminanță redusă (3 ... 10) 10^3 nt;
- eficacitate luminoasă mare, de 50 — 70 lm/W;
- durată de funcționare mare (7 500 ore), care scade însă cu creșterea numărului de conectări;
- temperatura tubului este redusă, circa 40°C;

— prezintă efect stroboscopic, adică valoarea momentană a fluxului luminos trece prin zero la finele fiecărei semiperioade a curentului absorbit. Acest efect este neplăcut atunci cînd se iluminează obiecte în mișcare, care par că se mișcă sacadat sau, la obiectele în rotație, se poate produce impresia că acestea se rotesc invers sau stau pe loc. Efectul stroboscopic poate fi sursă a accidentelor de muncă;

— fluxul luminos al lămpii depinde de temperatura mediului ambiant: el este maxim pentru temperatura de 20—40°C a mediului. Cu scăderea temperaturii ambiante fluxul scade, iar la temperaturi sub 5°C aprinderea lămpii este grea sau chiar imposibilă;

Tabelul 2.3

Colorile lămpilor fluorescente tubulare pentru iluminatul general, produse în România

Denumirea culorii	Temperatura de culoare [°K]	Simbolul culorii (STAS 6824-63)
Alb lumina zilei corectat	6 500	1 X
Alb	4 300	2
Alb superior	3 800	2 X
Alb cald	3 000	3
Alb cald superior ..	2 900	3 X

— pentru arderea stabilă a lămpilor fluorescente, acestea se montează în serie cu o bobină de balast. Circuitul funcționează deci cu factor de putere subunitar (circa 0,5); de aceea este necesară în general ameliorarea factorului de putere cu ajutorul unei capacități conectate în paralel cu circuitul;

— aprinderea lămpii fluorescente se face cu ajutorul unei supratensiuni, care se aplică între electrozi în momentul aprinderii. În acest scop, circuitul lămpii se echează cu un dispozitiv de aprindere denumit *starter* (fig. 2.32).

Starterul este o lampă cu lumină catodică, unul dintre electrozi *B* fiind format dintr-o lamă bimetalică. În cursul descărcării lampa se încălzește, electrodul *B* se îndoaie și face contact cu electrodul fix *A*; la răcirea lămpii contactul se desface. Pentru preîntâmpinarea parazitilor radiofonici la funcționarea starterului, în paralel cu acesta se leagă de obicei un condensator.

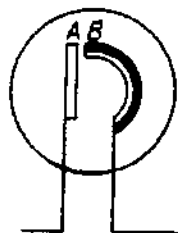


Fig. 2.32. Schița starterului luminescent: *A* — electrod fix; *B* — electrod bimetalic

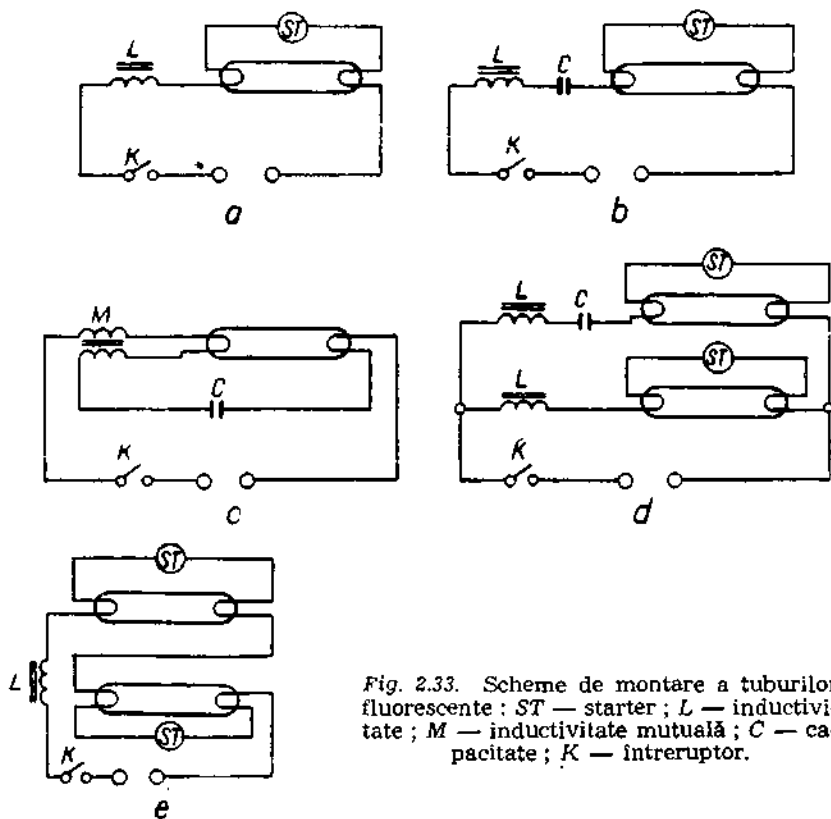


Fig. 2.33. Scheme de montare a tuburilor fluorescente: *ST* — starter; *L* — inductivitate; *M* — inductivitate mutuală; *C* — capacitate; *K* — întrerupător.

Fenomenele care au loc la aprinderea lămpii fluorescente se pot urmări cu ajutorul schemei din figura 2.33, *a*.

Aprinderea se face în două etape. În prima etapă, care începe odată cu punerea circuitului sub tensiune, prin închiderea întreruptorului *K*, tensiunea sursei, insuficient de mare pentru aprinderea tubului fluorescent, este aplicată în întregime electrozilor starterului *ST* (curentul absorbit este foarte mic, deci căderea de tensiune pe bobina *L* este neglijabilă). Datorită descărcării din starter, acesta se încălzește pînă cînd electrodul *B* realizează contactul electric cu electrodul *A*, scurtcircuitînd tubul. Din acest moment începe etapa a doua : circuitul, care conține numai inductivitatea *L* conectată în serie cu cei doi electrozi ai tubului, este parcurs de un curent de intensitate relativ mare, care produce încălzirea electrozilor, pregătind în acest fel aprinderea. În același timp, bimetalul starterului se răcește, căci descărcarea luminiscentă nu mai are loc atunci cînd electrozii acestuia sînt scurtcircuitați. De aceea, la un moment dat, electrozii starterului se desfac, ceea ce are ca urmare reducerea bruscă a curentului prin circuit la o valoare practic nulă. Energia electromagnetică înmagazinată în bobina *L* în momentul imediat premergător deschiderii circuitului (cînd curentul are valoarea momentană i) $\frac{1}{2} Li^2$, se transformă în energie electrostatică ce apare în capacitatea formată între electrozii starterului *C*, de forma $\frac{1}{2} Cu^2$, adică :

$$\frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} Cu^2 ; \quad (2 - 68)$$

capacitatea *C* fiind foarte mică, tensiunea *u* care apare între electrozii starterului (sau ai tubului fluorescent, cu care aceștia sînt legați în paralel) este relativ mare. Prin urmare, în acest moment, între electrozii încălziți ai tubului se aplică un vîrf de tensiune care determină amorsarea descărcării înții în atmosfera de argon și apoi, la scurt timp, în vaporii de mercur formați.

După aprinderea tubului fluorescent, tensiunea rețelei se împarte pe bobina *L* și pe tub ; tensiunea tubului, care este aplicată și starterului, este prea mică pentru

amorsarea descărcării în acesta din urmă, de aceea starterul iese din funcțiune pe toată durata arderii tubului.

Ciclul de aprindere durează 1 - 2 secunde sau chiar mai mult, dacă tensiunea rețelei este sub cea normală.

Dacă dintr-un motiv oarecare tubul nu s-a aprins, ciclul se repetă ; în cazul în care tubul este defect, starterul „încearcă” să-l aprindă fără succes de un număr mare de ori și durata sa de viață se reduce, întrucît el este dimensionat să funcționeze într-un regim de scurtă durată. Pentru evitarea acestui fenomen se folosește uneori

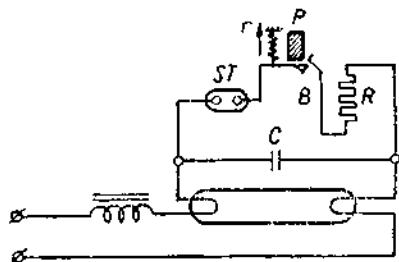


Fig. 2.34. Schema lămpii cu starter de siguranță : *ST* — starter ; *B* — lama bimetalică ; *R* — rezistență de încălzire ; *r* — resort ; *P* — buton ; *C* — condensator de deparazitare

starterul de siguranță, a cărui funcționare rezultă din figura 2.34. Dacă tubul este defect, curentul care trece în regim intermitent prin circuitul starterului produce încălzirea lamei bimetalice B , care se încovoie conform săgeții, eliberând contactul care se ridică tras de resortul r și circuitul se întrerupe. După înlăturarea defecțiunii, contactul se readuce în poziția de funcționare cu ajutorul butonului P .

În afară de *schema cu balast inductiv* studiată (fig. 2.33, *a*), care absoarbe un curent defazat în urma tensiunii cu un unghi de circa 60° ($\cos \varphi = 0,5$), se mai folosește în practică și *schema cu balast capacitiv* (fig. 2.33, *b*). Datorită condensatorului în serie, curentul absorbit este defazat înaintea tensiunii cu un unghi de circa 60° ($\cos \varphi = 0,5$).

Schema cu balast pentru aprindere rapidă fără starter (fig. 2.33, *c*) permite aplicarea supratensiunii necesare aprinderii cu ajutorul unui circuit oscilant realizat de capacitatea C și un cuplaj inductiv M . Frecvența proprie a acestui circuit este apropiată de cea a rețelei, de aceea pe capacitate și inductivitate apar tensiuni care sînt mai mari decît tensiunea rețelei, o parte din această tensiune fiind aplicată la electrozii lămpii. Aprinderea este foarte rapidă și mai sigură la temperaturi joase decît la lămpile echipate cu starter de construcție obișnuită. Lampa, care trebuie să se aprindă cu electrozii reci, are o construcție particulară. Factorul de putere al acestui circuit este foarte apropiat de unitate.

Montajul duo cuprinde două circuite, unul cu balast inductiv, celălalt cu balast capacitiv, conectate în paralel (fig. 2.33, *d*). Factorul de putere al montajului este practic unu, componentele reactive ale curenților se compensează; de asemenea, curenții prin cele două lămpi fiind defazați aproximativ la 120° , efectul stroboscopic este foarte redus.

Montajul tandem (fig. 2.33, *e*) conține două tuburi conectate în serie, împreună cu un balast pentru puterea sumă.

Pentru reducerea în mai mare măsură a efectului stroboscopic, lămpile din aceeași încăpere se pot monta pe faze diferite ale rețelei trifazate de alimentare, cu balasturi de același tip, de exemplu inductive; în asemenea cazuri, datorită defazajului existent între curenții din tuburi, fluxurile luminoase ale lămpilor sînt și ele defazate, fluxul luminos rezultat fiind practic constant în timp.

În tabelul A al anexei 1 sînt date caracteristicile principale ale unor surse de lumină fabricate în România. Trebuie subliniat că sursele fluorescente fabricate la uzinele de tuburi și cinescoape București, sînt produse la un înalt nivel calitativ, prezentînd performanțe superioare și fiind apreciate în țară și peste hotare.

2.8. CORPURI DE ILUMINAT

Izvoarele electrice de lumină se montează în general în corpuri (aparate) de iluminat, care îndeplinesc, în totalitate sau parțial, următoarele funcțiuni: distribuirea fluxului luminos în spațiu; modificarea compoziției spectrale a

luminii; diminuarea fenomenelor de orbire; susținerea elementelor mecanice, izolarea electrică și alimentarea cu energie electrică a izvorului luminos; protejarea lămpilor împotriva agenților exteriori.

În componența corpului de iluminat intră lampa sau lămpile, sistemul optic și armătura.

Sistemul optic este constituit din: elemente reflectante, care reflectă lumina regulat sau difuz (oglinzi, reflectoare); elemente transmițătoare (difuzoare), abajururi, globuri; elemente refractante (refractive): lentile, unele globuri; elemente selective absorbante (filtre colorate).

Armătura conține elemente de fixare a lămpilor și a sistemului optic, precum și conductoarele electrice de legătură și restul instalației electrice (bobine de balast, startere, condensatoare).

2.8.1. CARACTERISTICILE FOTOMETRICE ALE CORPULOR DE ILUMINAT

Corpurile de iluminat se caracterizează prin următoarele elemente.

a. *Distribuția intensităților luminoase.* Caracterizarea corpurilor de iluminat sub aspectul distribuției intensităților luminoase se face cu ajutorul curbelor fotometrice polare sau rectangulare sau prin celelalte metode indicate în subcapitolul 2.3. Trebuie remarcat faptul că unul și același corp de iluminat poate conține lămpi diferite, ce emit fluxuri luminoase de valoare diferită; de aceea, în majoritatea cazurilor, curbele fotometrice sînt date pentru cazul cînd lămpile emit un flux luminos convențional de 1 000 lm; pentru cazul real, cînd fluxul luminos al lămpilor este Φ_l , intensitatea luminoasă pe o anumită direcție se determină amplificînd valoarea citită pe curba fotometrică cu raportul $\Phi_l/1\,000$.

b. *Coeficientul de amplificare* reprezintă raportul dintre intensitatea luminoasă I_{max} și intensitatea luminoasă medie sferică I_{ms} a corpului de iluminat respectiv.

c. *Randamentul* unui corp de iluminat η_a este raportul dintre fluxul luminos emis de către acesta, Φ_a , și fluxul luminos al lămpilor conținute, Φ_l , adică:

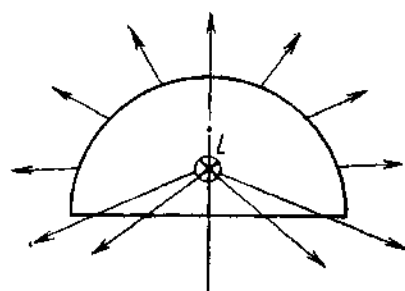


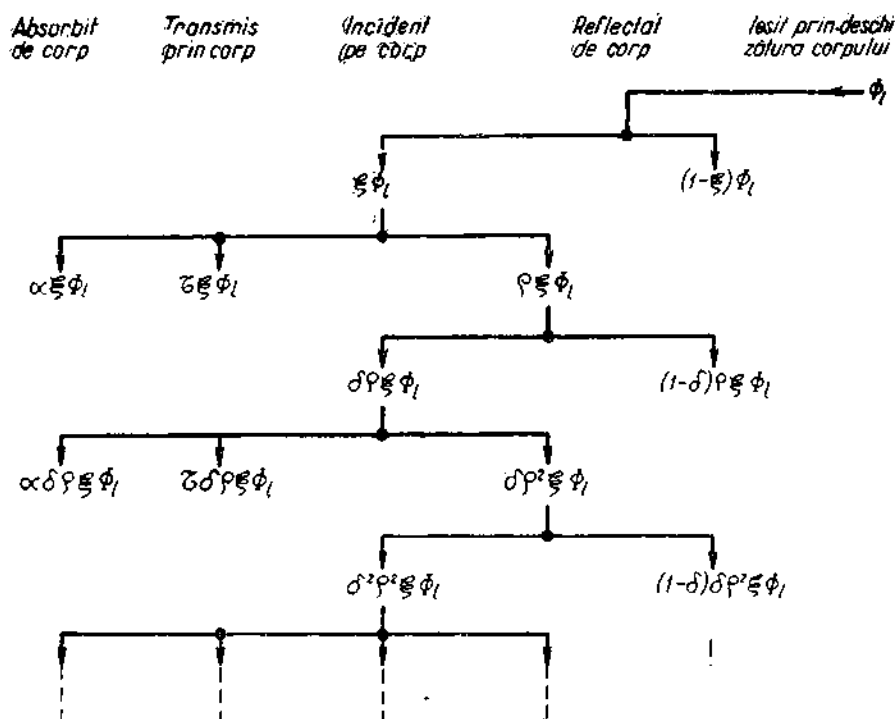
Fig. 2.35. Corp de iluminat format dintr-o calotă difuzantă deschisă la partea inferioară

$$\eta_a = \frac{\Phi_a}{\Phi_l} \quad (2-69)$$

Fie $\xi\Phi_l$ cota parte din fluxul luminos al lămpilor care cade pe elementele corpului de iluminat; evident, $(1 - \xi)\Phi_l$ reprezintă fluxul luminos ce iese prin deschizătura acestuia (fig. 2.35).

Din fluxul luminos $\xi\Phi_l$, o parte $\alpha\xi\Phi_l$ este absorbit, altă parte $\rho\xi\Phi_l$ este reflectat, în fine restul $\tau\xi\Phi_l$ este transmis de aparat ($\alpha + \rho + \tau = 1$) Fluxul luminos

$\rho\xi\Phi_i$ este astfel reflectat încît o cotă $\delta\rho\xi\Phi_i$ cade din nou pe elementele corpului, iar $(1-\delta)\rho\xi\Phi_i$ iese prin deschizătura acestuia. Fluxul luminos $\delta\rho\xi\Phi_i$ se supune aceluiaşi proces ca şi fluxul $\xi\Phi_i$, aşa încît fluxul luminos total absorbit de elementele corpului de lumină, cel transmis de acestea şi cel ce iese prin deschizătura corpului rezultă ca o sumă a unui număr infinit de mare de fluxuri luminoase. Calculul acestor fluxuri luminoase se poate face conform schemei ce urmează :



Conform acestei scheme, se pot calcula următoarele mărimi.

— Fluxul luminos ce iese prin deschizătura corpului :

$$\begin{aligned}
 \Phi_{ia} &= (1-\xi)\Phi_i + (1-\delta)\rho\xi\Phi_i + (1-\delta)\delta\rho^2\xi\Phi_i + \dots = \\
 &= [(1-\xi) + (1-\delta)\rho\xi(1+\rho\delta+\dots)]\Phi_i = \left[(1-\xi) + \frac{(1-\delta)\rho\xi}{1-\rho\delta} \right] \Phi_i = \\
 &= \left[1 - \frac{\xi(1-\rho)}{1-\rho\delta} \right] \Phi_i. \quad (2-70)
 \end{aligned}$$

— Fluxul luminos transmis prin elementele corpului :

$$\Phi_t = \tau\xi\Phi_i + \tau\delta\rho\xi\Phi_i + \dots = \tau\xi(1+\rho\delta+\dots)\Phi_i = \frac{\xi\tau}{1-\rho\delta}\Phi_i. \quad (2-71)$$

— Fluxul luminos absorbit de corp :

$$\Phi_a = \alpha \xi \Phi_t + \alpha \delta \rho \xi \Phi_t + \dots = \alpha \xi (1 + \rho \delta + \dots) \Phi_t = \frac{\xi \alpha}{1 - \rho \delta} \Phi_t, \quad (2-72)$$

unde s-a ținut seama că $\rho < 1$, $\delta < 1$.

Conform relației (2-69),

$$\eta_a = \frac{\Phi_{id} + \Phi_r}{\Phi_t} = 1 - \frac{\xi(1 - \rho - \tau)}{1 - \rho \delta}. \quad (2-73)$$

Se verifică ușor că :

$$\Phi_{id} + \Phi_r + \Phi_a = \Phi_t.$$

Mărimile ξ și δ depind de construcția corpului de iluminat ; de exemplu, pentru un glob închis, $\xi = \delta = 1$; înlocuind în relația (2-73) se obține :

$$\eta_a = 1 - \frac{1 - \rho - \tau}{1 - \rho} = \frac{\tau}{1 - \rho}. \quad (2-74)$$

Cu notațiile din figura 2.36 se pot considera :

$$\xi = 1 - \frac{\alpha^\circ}{360^\circ}, \quad \delta = 1 - \frac{S'}{S}, \quad (2-75)$$

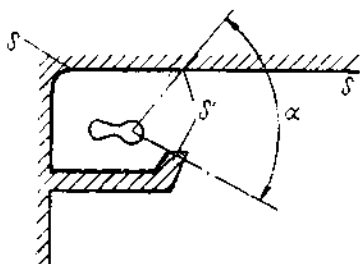


Fig. 2.36. Elementele de calcul al randamentului corpului de iluminat

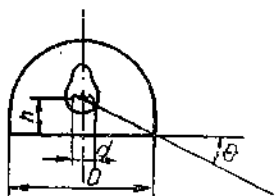


Fig. 2.37. Calculul unghiului de protecție al unui corp de iluminat

unde S este suprafața interioară totală a corpului de iluminat, iar S' — suprafața deschisă spre exterior a acestuia.

d. Unghiul de protecție. Fenomenul de orbire este în mare măsură evitat dacă izvoarele luminoase au lăminanță redusă (tuburi fluorescente) sau dacă elementele strălucitoare ale acestora (filament, coloana descărcării) nu pot fi privite direct, între ele și ochi interpunându-se elemente opace sau transmițătoare ale aparatului de iluminat, acestea din urmă micșorând considerabil lăminanța.

Unele corpuri de iluminat sînt în așa fel construite, încît din unele zone ale spațiului elementele strălucitoare pot fi privite direct, din alte zone, ochiul este protejat ; acestea se caracterizează prin *unghiul de protecție*, care este unghiul format între o dreaptă orizontală și linia limită care desparte cele două zone ale spațiului. Cu alte cuvinte, unghiul de protecție este unghiul maxim pe care-l poate face raza vizuală cu orizontala, fără a intersecta elementul strălucitor al lămpii

din aparatul de iluminat. Pentru corpul de iluminat reprezentat în figura 2.37, unghiul de protecție se calculează cu relația :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{h}{\frac{D}{2} + \frac{d}{2}} = \frac{2h}{D+d} . \quad (2-76)$$

e. Factorul de depreciere. Datorită îmbătrînirii elementelor transmițătoare ale aparatului de iluminat, depunerilor de impurități (praf, fum) pe suprafața lui, fluxul luminos emis de către aparat scade în timp față de valoarea emisă în starea curată și neuzată a aparatului. Este evident că scăderea fluxului luminos emis depinde de modul în care se face întreținerea aparatului, în special de frecvența curățirii lui.

Raportul între fluxul luminos mediu emis de un aparat în cursul exploatării sale Φ_m și fluxul luminos emis în stare inițială Φ_i se numește factor de depreciere :

$$\Delta = \frac{\Phi_m}{\Phi_i} < 1. \quad (2-77)$$

Uneori factorul de depreciere se dă prin valoarea inversă $K=1/\Delta > 1$.

2.8.2. CLASIFICAREA CORPURILOR DE ILUMINAT

Conform domeniului de utilizare, corpurile de iluminat se clasifică în următoarele clase.

a. Corpuri pentru iluminatul obișnuit, care sînt cele mai importante. Ele sînt destinate pentru iluminarea suprafețelor așezate la distanțe de maximum 50 m de aparat, emițînd fluxul luminos într-un unghi solid relativ larg.

b. Corpuri pentru iluminarea suprafețelor îndepărtate (proiectoare), care emit fluxul luminos într-un unghi solid relativ îngust.

c. Corpuri de semnalizare care nu au rolul de a ilumina anumite suprafețe, ci numai pe acela de a fi ele însele văzute ; de aceea ele trebuie să posede o anumită luminanță.

d. Corpuri de proiecție, folosite în instalații de cinematografie, epi și diascopae.

e. Corpuri de iradiat, folosite în medicină, agricultură, zootehnie etc.

2.8.3. CORPURILE PENTRU ILUMINATUL OBIȘNUIT

Corpurile de iluminat pot fi clasificate după mai multe criterii.

După criteriul *locului de utilizare* se deosebesc următoarele clase de corpuri de iluminat : clasa *A*, destinată iluminatului interior ; clasa *B* – pentru iluminatul exterior ; clasa *C* – pentru iluminatul mijloacelor de transport și clasa *D* – pentru utilizări speciale.

Tabelul 2.4

Clasificarea corpurilor de iluminat în funcție de repartizarea fluxului luminos (Φ_e = fluxul luminos al corpului de iluminat)

Corp de iluminat cu repartiție	Repartiția fluxului [%]	
	$\Phi_{\downarrow}/\Phi_e$	$\Phi_{\uparrow}/\Phi_e$
directă	> 90	< 10
semidirectă	60–90	10–40
difuză (mixtă)	40–60	40–60
semiindirectă	10–40	60–90
indirectă	< 10	> 90

O altă clasificare a corpurilor de iluminat se poate face după *gradul de protecție* pe care-l asigură împotriva agenților externi — ploaie, umezeală, praf, vapori corosivi etc. Cele două clasificări amintite pot fi puse în legătură, întrucât fiecărui loc de utilizare îi corespunde un anumit grad de protecție.

Clasificarea corpurilor de iluminat după *modul de distribuție* a fluxului luminos este redată în tabelul 2.4.

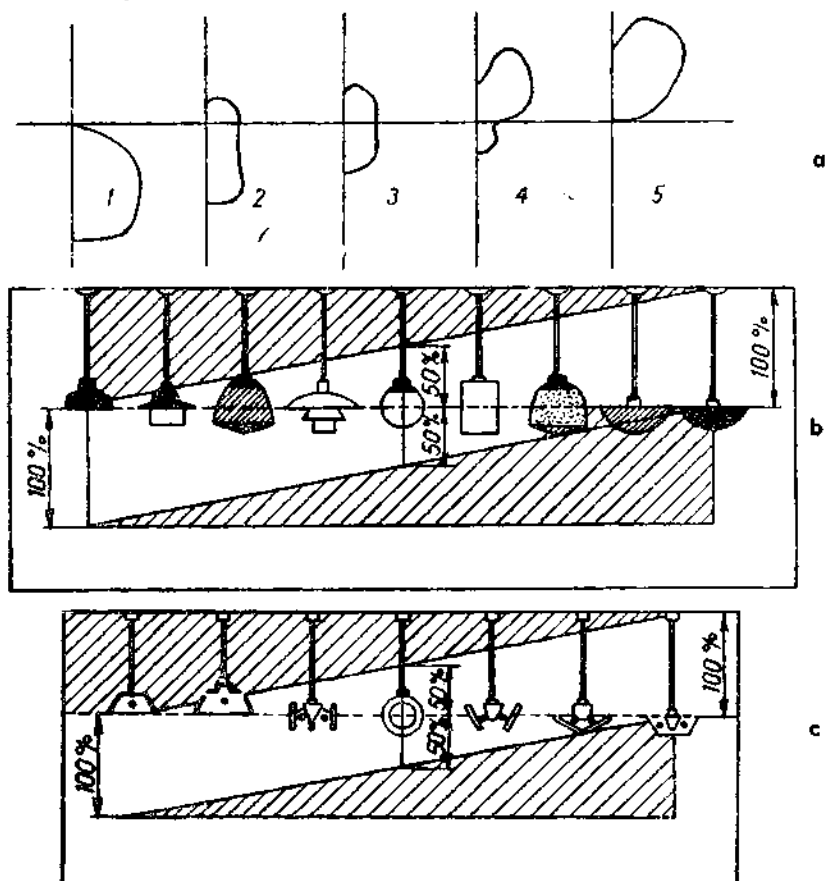


Fig. 2.38. Curbe fotometrice și corpuri de iluminat reprezentative, clasificate după repartizarea fluxului luminos: a — curbe fotometrice pentru corpuri cu repartizare directă — 1, semidirectă — 2, mixtă — 3, semiindirectă — 4 și indirectă — 5; b — corpuri de iluminat pentru lămpi incandescente; c — corpuri de iluminat pentru lămpi fluorescente

Figura 2.38 prezintă curbele fotometrice și schemele unor corpuri de iluminat care se încadrează în clasificarea din tabelul 2.4.

În funcție de *particularitățile de execuție și fixare* a corpurilor de iluminat, acestea se pot clasifica în: pendule sau corpuri suspendate (când sînt atîrnate de tavan printr-un cordon, lanț, tub etc.); plafoniere (fixate pe tavan); aplice (fixate pe pereți); lămpi de masă, de birou, lampadare (corpuri transportabile cu picior înalt, așezate pe sol); portabile (care se țin în mînă și se alimentează de la rețea printr-un cordon flexibil).

În tabelele B și C ale anexei 1 sînt date amănunte constructive și curbe fotometrice ale unor corpuri de iluminat fabricate în România și destinate iluminatului interior, respectiv exterior.

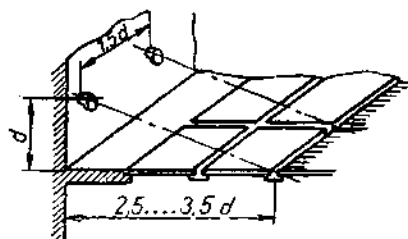


Fig. 2.39. Schița unui tavan luminos cu surse de lumină așezate lateral

2.8.4. ELEMENTELE LUMINOASE ARHITECTURALE

În multe cazuri, iluminatul încăperilor se realizează folosindu-se în locul corpurilor de iluminat anumite elemente care fac parte din arhitectura încăperilor. Asemenea elemente sînt scafele, tavanele, pereții luminoși etc.

Lămpile așezate în scafe (fig. 2.36) radiază lumina asupra tavanului, de unde fluxul luminos este reflectat asupra planului util. Lămpile fiind ascunse vederii, efectul de orbire nu se manifestă, iar iluminatul suprafeței de lucru este foarte uniform, difuz și lipsit de umbre. Scafele sînt elemente ale construcției încorporate sau aplicate, plasate pe pereți sau pe plafoane, astfel încît să se realizeze efectele decorative și de iluminat căutate. Dacă ele sînt construite din material opac, iluminatul realizat este indirect; dacă sînt însă construite total sau parțial din material translucid, scafele se încadrează în grupa corpurilor de iluminat semiindirect. În scafe se montează lămpi cu incandescență sau fluorescente, așezarea acestora în scafe și poziția scafelor în cadrul încăperii fiind determinate de considerente privitoare la uniformitatea iluminării realizate.

Tavanele luminoase se realizează din luminatoare în care sînt montate surse de lumină uniform repartizate pe suprafață; o altă soluție constă în așezarea pe tavan a surselor, sub acestea montîndu-se apoi un al doilea tavan din sticlă, material plastic difuzant sau grătare din material plastic sau metalic. Cînd tavanul luminos este realizat din sticlă sau material plastic difuzant, sursele luminoase se pot așeza în reflectoare oglindate asimetrice, plasate pe pereții laterali de deasupra acestora (fig. 2.39). Lămpile folosite în toate cazurile sînt cu incandescență sau fluorescente.

Construcția tavanelor luminoase trebuie astfel realizată încît privirea directă a lămpilor să fie împiedicată.

Iluminatul cu suprafețe luminoase se folosește numai cînd se urmărește un efect decorativ deosebit, pentru că randamentul luminos al acestora este mai scăzut decît cel al corpurilor de iluminat obișnuite.

2.9. SISTEME DE ILUMINAT

Corpurile de iluminat care se instalează în vederea realizării iluminatului în cadrul unui anumit obiectiv, se aleg și se așază în spațiu în așa fel încât, împreună cu elementele obiectivului care participă activ la transmiterea luminii pe planul de lucru, să asigure anumite efecte. În acest sens, ansamblul surse luminoase – obiectiv formează un *sistem de iluminat*.

Sistemele de iluminat pot fi clasificate după mai multe criterii.

Conform împrejurărilor în care urmează a se realiza iluminatul, sistemele de iluminat se clasifică în modul următor.

Sisteme de iluminat normal, care sînt folosite în condiții normale de desfășurare a activității.

Sisteme de iluminat de siguranță, care au rolul de a asigura iluminarea necesară în condițiile defectării sistemelor normale. În acest scop, iluminatul de siguranță se alimentează de la o sursă de energie care prezintă posibilitate mai mică de defectare; pentru verificarea stării de funcționare a instalației iluminatului de siguranță, de obicei, acesta este folosit în același timp cu iluminatul normal.

Iluminatul de siguranță se poate clasifica mai departe după cum urmează. Iluminat *pentru continuarea lucrului*, care se prevede acolo unde întreruperea activității din cauza lipsei iluminatului poate conduce la pagube mari (rebuturi sau defectări de utilaje) sau la pierderi de vieți omenești (anumite ramuri industriale, grupurile operatorii din spitale etc.). Nivelul de iluminare necesar pentru continuarea lucrului este stabilit prin norme. Iluminatul de siguranță *de evacuare* se realizează cu puncte indicatoare luminoase (săli de spectacole, spitale) sau special, în săli de spectacole cu peste 400 locuri.

Trebuie menționat faptul că în anumite industrii se instalează sisteme de iluminat specifice. De exemplu, în centralele și stațiile electrice se instalează un iluminat *de pericol* în toate locurile în care sînt accesibile părți neizolate ale instalației electrice sau unde există pericol de incendiu și explozie; iluminatul *pentru reparații*, instalat în punctele în care este necesară intervenția chiar în perioada de întrerupere a funcționării centralei, iluminatul *de pază și securitate* etc.

După modul în care este repartizată iluminarea pe planul util, se pot distinge sisteme de iluminat *general*, iluminat *local* și iluminat *combinat (mixt)*.

Sistemul de iluminat general asigură o iluminare practic uniformă pe întregul plan util sau pe anumite zone ale acestui plan. Realizarea acestui sistem de iluminat necesită plasarea unor corpuri de iluminat identice, în număr mare, repartizate uniform deasupra planului util sau a zonelor luminate din planul util.

Sistemul de iluminat local realizează iluminarea necesară numai în cadrul unor suprafețe restrînse de pe planul util, folosindu-se corpuri de iluminat local, în număr mic și așezate în imediata apropiere a suprafeței de iluminat.

Realizarea unei iluminări practic constante pe întreaga suprafață a planului util, la nivelul prescris de norme, în cadrul unui sistem de iluminat general, este legată de cheltuieli de investiții și de exploatare mari. Sub aspect economic

deci, sistemul de iluminat local este superior sistemului de iluminat general. În schimb, sistemul de iluminat local este obositor pentru ochi din cauza alternanței luminanțelor (iluminărilor) zonelor intens luminate și zonelor de umbră din încăperile prevăzute cu un astfel sistem de iluminat.

Ca o măsură de compromis se utilizează *sistemul de iluminat combinat (mixt)* care asigură suprapunerea peste un anumit iluminat general a unui iluminat local, ce realizează iluminarea necesară la locurile de lucru. Pentru a reduce contrastul la valori admisibile, iluminarea locală nu trebuie să depășească cu mai mult de 10 ori iluminarea generală. Iluminatul combinat prezintă și avantajul de a diminua umbrele puternice care se produc în cadrul iluminatului local.

După căile pe care fluxul luminos ajunge de la corpurile de iluminat pe planul util, sistemele de iluminat se clasifică în sisteme de iluminat *direct, semidirect, mixt, semiindirect și indirect*. Cele cinci sisteme de iluminat sunt caracterizate prin cotele de flux luminos repartizate în sfera superioară, respectiv inferioară; pentru ele sunt valabile valorile indicate în tabelul 2.4 pentru corpurile de iluminat.

Fluxul luminos emiseric inferior ajunge pe planul util, în cea mai mare parte, în mod direct; fluxul luminos emiseric superior ajunge pe planul util după un număr oarecare de reflexii pe tavanul și pe pereții încăperii. Din aceste considerații rezultă caracteristicile tehnico-economice ale diferitelor sisteme de iluminat. Sistemul de iluminat direct este cel mai economic, pentru că absorbția de flux luminos de către tavan și pereți este minimă; pe de altă parte, el este caracterizat prin formarea de umbre și un contrast puternic între tavan și suprafața iluminată.

Sistemul de iluminat indirect, din aceleași considerente, va fi cel mai scump, însă umbrele pe planul de lucru și contrastele formate sunt foarte reduse în încăperile cu iluminat indirect.

Este evident că sistemele semidirect, mixt și semiindirect vor prezenta însușiri intermediare între acelea ale sistemelor direct și indirect.

Alegerea sistemului de iluminat potrivit pentru o încăpere dată se face ținând seama de caracteristicile activității ce se duce în acele încăperi.

Sistemul de iluminat direct se folosește în încăperile industriale, la iluminatul exterior și acolo unde este necesar ca umbrele să marcheze reliefurile obiectelor.

Sistemul de iluminat indirect se utilizează în sălile de desen, biblioteci, muzee etc. Este necesar ca pereții și tavanul încăperilor iluminate indirect să fie de culoare deschisă și să fie curați pentru a se obține o utilizare cât mai bună a fluxului luminos.

Sistemele de iluminat intermediare se utilizează în săli de desen, biblioteci, școli, birouri, locuințe etc. Ele asigură o bună percepere a detaliilor și contraste nu prea mari, în condițiile unui preț de cost relativ redus.

2.10. CALCULUL FOTOMETRIC AL INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT PRIN METODA PUNCT CU PUNCT ȘI METODA REFLEXIILOR MULTIPLE

Metoda de calcul fotometric punct cu punct permite determinarea valorii iluminării într-un punct oarecare, atunci când se cunosc exact pozițiile tuturor elementelor sistemului corpuri de iluminat — încăpere, respectiv caracteristicile fotometrice ale acestora — repartitia intensităților luminoase, factorii de reflexie etc. Datorită acestei particularități, metoda punct cu punct este în primul rând o metodă de verificare cantitativă a unei instalații de iluminat dimensionate anterior; metoda punct cu punct este însă folosită uneori și ca metodă de dimensionare parțială sau totală a instalațiilor de iluminat în anumite cazuri mai complicate (vezi subcap. 2.14).

Lumina radiată de către corpurile de iluminat ajunge într-un anumit punct al spațiului (al planului util) pe două căi: o primă cale este cea directă, corespunzătoare razelor de lumină care se propagă, în linie dreaptă, de la surse la punctul dat. Totalitatea acestor raze determină valoarea *componentei directe a iluminării*; în punctul dat, componentă ce poate fi calculată folosind legile generale ale iluminării.

A doua componentă a iluminării, denumită *componenta reflectată* corespunde razelor de lumină care, în drumul lor de la surse la punctul considerat, suferă un număr oarecare de reflexii pe suprafețele încăperii, pereți, tavan. Metoda punct cu punct permite calculul separat al celor două componente și determinarea iluminării totale într-un punct dat prin însumarea acestora. Evident, în cazul instalațiilor de iluminat exterior sau al celor de iluminat interior din încăperile ale căror pereți sau tavan sînt caracterizați prin factori de reflexie reduși, componenta reflectată este nulă sau neglijabilă și iluminarea într-un punct dat este practic egală cu componenta directă a acesteia.

Ținînd seama de faptul că sursele de lumină sînt constituite din corpuri luminoase de diferite forme, calculul componentei directe a iluminării se realizează pentru trei cazuri limită și anume: surse punctiforme, surse liniare și surse de suprafață.

2.10.1. CALCULUL COMPONENTEI DIRECTE A ILUMINĂRII PENTRU SURSE DE LUMINĂ PUNCTIFORME

Prin surse punctiforme se înțeleg corpurile de iluminat ale căror dimensiuni sînt sub $1/5$ din distanța pînă la planul util.

Se consideră întîi o sursă de lumină cu repartitie simetrică a intensității luminoase (fig. 2.40), deci $I_{\alpha} = f(\alpha)$, unghiul α măsurîndu-se de la axa corpului fotometric, considerată normală la planul orizontal. Cu notațiile din figură,

observînd că $\theta = \alpha$ și folosind relația (2—40), se poate calcula iluminarea în punctul P al planului orizontal cu relația:

$$E = \Delta \frac{I_a \cos \alpha}{l^2} = \Delta \frac{I_a \cos \alpha}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} = \Delta \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (2-78)$$

Δ fiind factorul de depreciere.

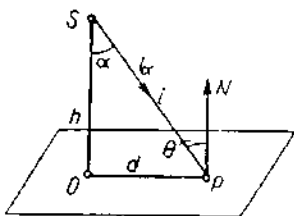


Fig. 2.40. Calculul iluminării într-un plan orizontal

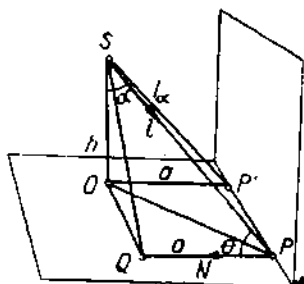


Fig. 2.41. Calculul iluminării într-un plan vertical

Dacă se caută iluminarea într-un punct al unui plan vertical, conform figurii 2.41 se poate scrie, în prealabil, că:

$$\cos \theta = \frac{a}{b}, \quad (2-79)$$

iar:

$$E = \Delta \frac{I_a \cos \theta}{l^2} = \Delta \frac{I_a \frac{a}{b}}{l^2} = \Delta \frac{I_a a}{l^2 b} = \Delta \frac{I_a a}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^3} = \Delta \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h^2} \frac{a}{h}. \quad (2-80)$$

Relația (2—80) arată că iluminarea într-un punct dintr-un plan vertical este egală cu iluminarea din același punct aflat într-un plan orizontal amplificată cu raportul distanțelor sursei pînă la cele două planuri. Acest lucru este în deplină concordanță cu cele arătate la subcapitolul 2.4.

Dacă punctul P se găsește în poziția particulară P' , adică este chiar piciorul perpendicularei din O pe intersecția celor două planuri, $\theta = \pi/2 - \alpha$, $a/h = \tan \alpha$ și deci relația (2—80) se scrie:

$$E = \Delta \frac{I_a \cos^2 \alpha \sin \alpha}{h^2}. \quad (2-81)$$

În cazul utilizării frecvente a unui anumit tip de izvor luminos, calculele se fac mai ușor folosind în locul curbei fotometrice așa-numitele curbe *isolux* (de iluminare constantă). Curbele isolux se trasează într-un sistem de axe

rectangulare cu originea aleasă în colțul din stînga sus (unde de consideră așezată sursa de lumină), de unde se măsoară pe axa ordonatelor cota sursei deasupra planului util h , iar pe axa absciselor-distanța OP (vezi fig. 2.40). În grafic (fig. 2.42) se duc raze de unghiuri α constante. Pentru diferite valori constante ale iluminării $E_1, E_2, \dots$ relația (2—78) permite trasarea curbelor isolux $h=f(\alpha)$. Utilizarea practică a curbelor este evidentă.

Dacă în încăpere sînt montate mai multe corpuri de iluminat identice, componentele directe ale iluminărilor produse de către acestea se adună în fiecare punct al planului util. Este avantajos în asemenea cazuri ca, pentru calcule rapide, să se traseze cu ajutorul relației (2—78) curba $E=f(d)$ pentru $h=ct.$ (fig. 2.43), ținînd seama că :

$$d=h \operatorname{tg} \alpha. \quad (2-82)$$

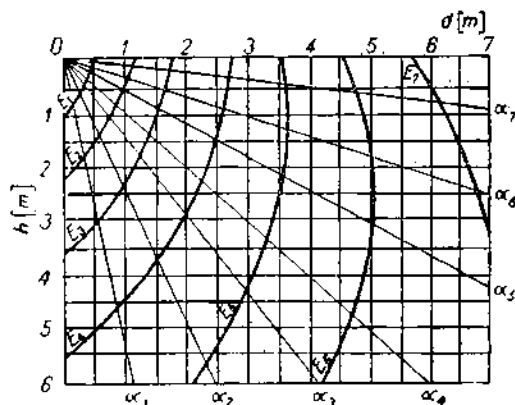


Fig. 2.42. Trasaerea curbelor isolux

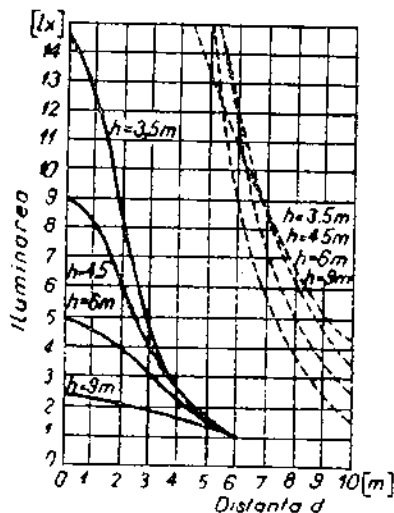


Fig. 2.43. Curbe ale iluminării funcție de distanța în plan d , pentru $h=ct.$

Pentru a stabili valoarea iluminării directe într-un punct oarecare al planului util, se măsoară distanța h din acel punct pînă la proiecția în plan a fiecărei surse, se caută E corespunzător în curbe și apoi se face însumarea iluminărilor parțiale.

În cazul în care repartitia intensității luminoase a corpului de iluminat nu este simetrică, $I_{\alpha, \beta}=f(\alpha, \beta)$ (conform fig. 2.7, d), calculul iluminării se face tot cu relațiile de mai sus, cu diferența că I_{α} se înlocuiește cu $I_{\alpha, \beta}$.

În cazul în care corpurile de iluminat au suprafețe fotometrice de revoluție, determinarea iluminării rezultante într-un punct dat se face foarte simplu.

Se trasează curba $E=f(d)$ (2—78), d fiind distanța de la proiecția sursei luminoase pe planul util până în punctul considerat. Curba se trasează pe hîrtie de calc, iar scara absciselor se alege egală cu scara la care se desenează vederea în plan a încăperii studiate (fig. 2.44).

Pentru a calcula iluminarea determinată de sursa 1 în punctul P , foaia de calc se așază astfel ca originea sistemului $E-d$ să coincidă cu punctul 1, iar axa absciselor să treacă prin punctul P ; în acest caz, în dreptul punctului P se citește iluminarea E_1 . Procedînd analog cu sursele luminoase 2, 3..., se determină $E_2, E_3 \dots$ și deci suma lor, adică iluminarea totală în punctul P .

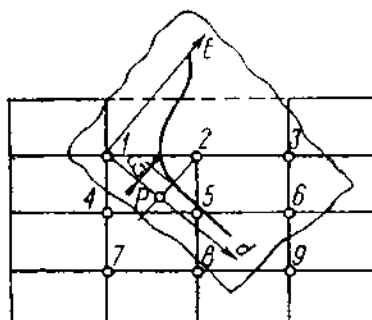


Fig. 2.44. Calculul iluminării totale determinate într-un punct de mai multe surse luminoase simetrice

2.10.2. CALCULUL COMPONENTEI DIRECTE A ILUMINĂRII PENTRU SURSE DE LUMINĂ LINIARE

Sursele de lumină liniare sînt sursele ale căror dimensiuni transversale sînt neglijabile în raport cu lungimea lor; lungimea este însă de același ordin de mărime cu distanțele pînă la planul util. Exemple tipice de surse liniare sînt tuburile luminoase, așezate în interiorul corpurilor de iluminat sau suspendate liber.

În cazul general, sursele liniare au un corp fotometric de formă cilindrică, cu axa paralelă cu axa sursei și cu baza de o formă oarecare, determinată de construcția aparatului de iluminat; așa cum s-a arătat la paragraful 2.3.2, sursele liniare sînt caracterizate prin curba fotometrică rezultată din intersecția suprafeței fotometrice cu un plan normal pe axa sursei; intensitatea luminoasă în acest plan $I_{0\epsilon}$ depinde de unghiul ϵ (fig. 2.45); $I_{0\epsilon}$ este intensitatea luminoasă pe direcția ϵ corespunzînd unei surse de lungime egală cu 1 m; ea se numește *intensitate luminoasă unilară* și se măsoară în cd/m. Intensitatea luminoasă a unei surse de lungime infinit mică dx este:

$$dI_{\epsilon} = I_{0\epsilon} dx. \quad (2-83)$$

Intensitatea luminoasă pe o direcție aflată într-un plan ce trece prin axa sursei luminoase și face un unghi α cu intensitatea luminoasă normală dI_{ϵ} respectă legea suprafețelor perfect difuzante, adică

$$dI_{\alpha_x} = dI_{\epsilon} \cos \alpha_x = I_{0\epsilon} \cos \alpha_x dx. \quad (2-84)$$

În cele ce urmează, se va arăta modul de calcul al iluminării determinate de un izvor liniar de lungime L , într-un punct P așezat în planul util undeva pe dreapta după care planul util este intersectat de un plan de capăt dus printr-

una din extremitățile sursei. Pentru cazul cînd planul util este paralel cu axa sursei (fig. 2.46), conform legii de bază a fotometriei (rel. 2—40), iluminarea produsă de sursa de lungime dx este:

$$dE = \Delta \frac{dI_{\alpha_x} \cos \theta}{r^2} \quad (2-85)$$

Înlocuind relația (2—84) în (2—85) se obține:

$$dE = \Delta I_{0s} \frac{\cos \alpha_x \cos \theta dx}{r^2} \quad (2-86)$$

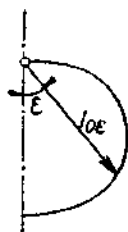


Fig. 2.45.
Curba fotometrică a
unei surse de
lumină liniară

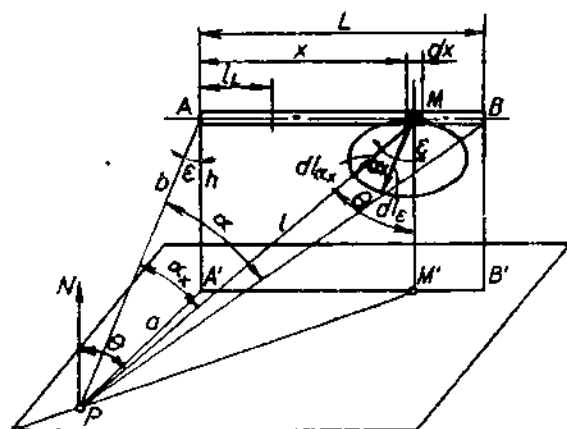


Fig. 2.46. Calculul iluminării determinate de o sursă liniară paralelă cu planul util

În triunghiul MAP se poate scrie $\operatorname{tg} \alpha_x = x/b$, așa că:

$$dx = b \frac{d\alpha_x}{\cos^2 \alpha_x};$$

de asemenea, $l = b/\cos \alpha_x$. Pe de altă parte, din triunghiul $MM'P$ rezultă $\cos \theta = h/l$. Înlocuind în relația (2—86) se obține:

$$dE = \Delta \frac{I_{0s} h}{b^2} \cos^2 \alpha_x d\alpha_x,$$

de unde, efectuînd calculele, se obține:

$$E = \int dE = \int_0^\alpha \Delta \frac{I_{0s} h}{b^2} \cos^2 \alpha_x d\alpha_x = \Delta \frac{I_{0s} h}{2b^2} \left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \quad (2-87)$$

Însă $I_{0e} = \frac{I_e}{l_L}$, unde l_L este lungimea unui tub din șir, iar I_e — intensitatea luminoasă citită din curba fotometrică a corpului de iluminat respectiv, încît :

$$E = \Delta \frac{I_e h}{4l_L (a^2 + h^2)} (2\alpha + \sin 2\alpha). \quad (2-88)$$

Pentru cazul în care se cere iluminarea într-un punct aflat în planul de capăt ce trece prin extremitatea sursei (fig. 2.47), în mod analog :

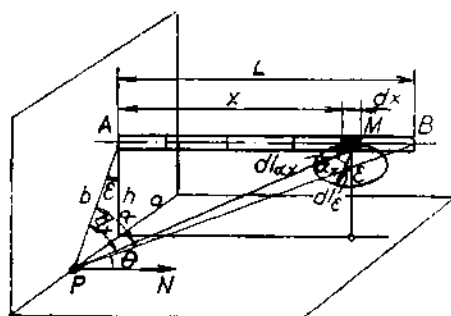


Fig. 2.47. Calculul iluminării determinate de o sursă liniară într-un plan de capăt

$$dE = \Delta \frac{dI_{ex} \cos \theta}{r^2} = \Delta \frac{I_{0e} \cos \alpha_x \cos \theta}{r^2} dx; \quad (2-89)$$

nsă din triunghiul MAP : $\cos \theta = \frac{x \cos \alpha_x}{b}$ și $\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{x}{b}$, deci :

$$dx = \frac{b}{\cos^2 \alpha_x} d\alpha_x$$

încît relația (2-89) devine :

$$dE = \Delta \frac{I_{0e}}{2b} \sin 2\alpha_x d\alpha_x,$$

și :

$$\begin{aligned} E &= \int dE = \int_0^{\alpha} \Delta \frac{I_{0e}}{2b} \sin 2\alpha_x d\alpha_x = \Delta \frac{I_{0e}}{4b} (1 - \cos 2\alpha) = \\ &= \Delta \frac{I_{0e}}{2b} \sin^2 \alpha = \Delta \frac{I_e}{2l_L \sqrt{a^2 + h^2}} \sin^2 \alpha. \end{aligned} \quad (2-90)$$

Relațiile (2-88) și (2-89) permit calculul iluminării și în cazul general cînd punctul P se găsește în afara planului de capăt considerat. Într-adevăr, dacă punctul P se găsește în poziția reprezentată în figura 2.48, a , iluminarea orizontală rezultă ca suma iluminărilor produse de cele două tuburi componente de lungimi L_1 și L_2 , adică :

$$E = E_{AC} + E_{CB}. \quad (2-91)$$

Pentru poziția reprezentată în figura 2.48, b iluminarea orizontală și verticală se calculează folosind relația :

$$E = E_{BC} - E_{AC}. \quad (2-92)$$

În practică sursele liniare se așează adesea așa cum se arată în figura 2.49. În asemenea cazuri /64/, dacă raportul $\lambda/l_L \ll 2$, șirul poate fi considerat ca o sursă continuă, fără întreruperi; formulele (2-88) și (2-89) pot fi aplicate înlocuind însă pe I_e prin:

$$I'_e = I_e \frac{l_L}{l_L + \frac{n-1}{n} \lambda}, \quad (2-93)$$

relație care rezultă din echivalarea fluxului șirului luminos real cu fluxul luminos al sursei continue (n -numărul de lămpi pe șir).

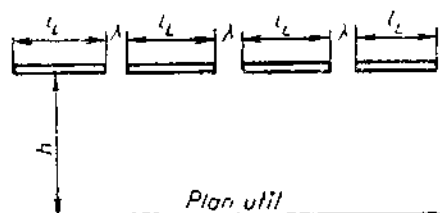
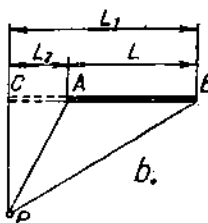
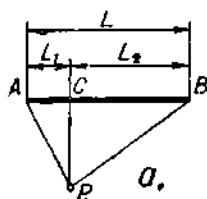


Fig. 2.48. Calculul iluminării determinate de surse liniare în puncte cu o poziție oarecare

Fig. 2.49. Șir de surse luminoase

S-a constatat că în cazul lămpilor fluorescente, legea suprafețelor difuzante nu este respectată deplin; pe baza unor studii experimentale s-au găsit relații care acoperă mai bine valorile măsurate.

Astfel după /65/:

$$dI_{\alpha_x} = dI_e \frac{\cos \alpha_x + \cos^2 \alpha_x}{2} \quad (2-94)$$

și după /64/:

$$dI_{\alpha_x} = dI_e \frac{2 \cos \alpha_x + \cos^2 \alpha_x + \cos^3 \alpha_x}{4}. \quad (2-95)$$

Relațiile obținute prin utilizarea acestor legi sînt mai complexe, însă dau un grad mai ridicat de exactitate. De pildă, cu relația (2-95), utilizînd același mecanism de demonstrare, rezultă pentru componenta directă în plan orizontal expresia:

$$E_{PH} = \Delta \frac{I_e h}{4l_L (a^2 + h^2)} \left[\frac{11}{8} \alpha + \frac{11}{16} \sin 2\alpha + \sin \alpha \left(\frac{\cos^3 \alpha}{4} + \frac{\cos^2 \alpha}{3} + \frac{2}{3} \right) \right], \quad (2-96)$$

iar pentru componenta directă în plan vertical:

$$E_{PV} = \Delta \frac{I_e}{4l_L \sqrt{a^2 + h^2}} \left[\sin^2 \alpha \left(\frac{5}{4} + \frac{\cos \alpha}{3} + \frac{\cos^2 \alpha}{4} \right) + \frac{1}{3} (1 - \cos \alpha) \right]. \quad (2-97)$$

Complexitatea acestor relații le face, în forma primară, neutilizabile în proiectarea curentă. De aceea este necesară folosirea unor mașini de calcul pentru obținerea unor tabele ajutătoare.

În acest scop, expresia (2—96) s-a transformat astfel:

$$E_{PH} = \eta I_e, \quad (2-98)$$

în care:

$$\eta = \frac{\Delta h}{4 l_L (a^2 + h^2)} \left[\frac{11}{8} \alpha + \frac{11}{16} \sin 2\alpha + \sin \alpha \left(\frac{\cos^3 \alpha}{4} + \frac{\cos^2 \alpha}{3} + \frac{2}{3} \right) \right]. \quad (2-99)$$

Această expresie a fost calculată pentru diverse situații uzuale date în tabelele D, E, F, ..., K din anexa 1, considerînd un factor de depreciere constant, $\Delta = 1/1,5^*$ și plecînd de la constatarea experimentală că iluminarea rămîne constantă dacă este îndeplinită condiția $L \gg 2h/64$. Deci tabelele pot fi utilizate dacă lungimea șirului considerat este mai mare sau egală cu cea pentru care sînt alcătuite.

Pentru cazul general, cînd situația existentă nu poate fi încadrată în tabelele menționate, relația (2—96) se transformă astfel:

$$E_{PH} = \Delta \frac{I_e h}{a^2 + h^2} \frac{x(\alpha)}{4 l_L}, \quad (2-100)$$

în care

$$x(\alpha) = \frac{11\alpha}{8} + \frac{11 \sin 2\alpha}{16} + \sin \alpha \left(\frac{\cos^3 \alpha}{4} + \frac{\cos^2 \alpha}{3} + \frac{2}{3} \right), \quad (2-101)$$

iar:

$$E_{PV} = \Delta \frac{I_e}{\sqrt{a^2 + h^2}} \frac{x'(\alpha)}{4 l_L}, \quad (2-102)$$

în care:

$$x'(\alpha) = \sin^2 \alpha \left(\frac{5}{4} + \frac{\cos \alpha}{3} + \frac{\cos^2 \alpha}{4} \right) + \frac{1}{3} (1 - \cos \alpha). \quad (2-103)$$

Factorii $\frac{x(\alpha)}{4 l_L}$ și $\frac{x'(\alpha)}{4 l_L}$ au fost calculați în anexa 1, tabelul L din grad în grad, pentru cele trei tipuri uzuale de lămpi: 20 W, 40 W și 65 W. În anexa 1 tabelul M este dat algoritmul și programul după care s-a făcut calculul la mașina electronică.

2.10.3. CALCULUL COMPONENTEI DIRECTE A ILUMINĂRII PENTRU SURSE DE LUMINĂ DE SUPRAFAȚĂ

Sursele luminoase de suprafață, denumite și panouri luminoase, sînt corpuri de iluminat care emit fluxul luminesc de obicei printr-o suprafață plană, de

* Pentru factori de depreciere (Δ') diferiți se face corecția corespunzătoare a factorului $\eta' = \eta \Delta' / \Delta$.

formă circulară (disc) sau dreptunghiulară. Suprafața luminoasă este construită dintr-un material ales în așa fel încât luminanța panoului să fie constantă în toate punctele sale. Figura 2.50 prezintă un exemplu de realizare a unui panou luminos perfect difuzant.

Fie o suprafață luminoasă S (fig. 2.51), caracterizată prin luminanță și emitanță; iluminarea determinată de un element dS al acestei suprafețe în punctul P , conform relației (2—50) este:

$$dE = \Delta \frac{dI_{\alpha} \cos \theta}{r^2} \quad (2-104)$$



Fig. 2.50. Panou luminos perfect difuzant

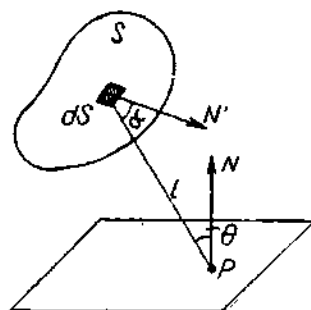


Fig. 2.51. Calculul iluminării produse de un panou luminos

Pe de altă parte, între luminanță L_{α} a suprafeței dS pe direcția α și intensitatea luminoasă pe aceeași direcție, dI_{α} , există relația (2—52)

$$L_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dS \cos \alpha}; \quad (2-105)$$

introducând în relația (2—104) și integrând, se obține:

$$E = \int dE = \int_S \Delta \frac{L_{\alpha} dS \cos \alpha \cos \theta}{r^2} \quad (2-106)$$

Dacă suprafața S este perfect difuzantă, luminanța nu mai depinde de unghiul α ; notînd în acest caz luminanța cu L , relația (2—106) se scrie:

$$E = \Delta L \int_S \frac{\cos \alpha \cos \theta dS}{r^2} \quad (2-107)$$

Pe de altă parte, ținînd seama de faptul că panoul luminos realizează o transmisie perfect difuză, relația (2—76) pentru acest caz se scrie:

$$L = \frac{M}{\pi}, \quad (2-108)$$

unde M este emitanța panoului. Înlocuind în relația (2—107), se obține :

$$E = e \Delta = M, \quad (2—109)$$

unde mărimea

$$e = \frac{1}{\pi} \int_S \frac{\cos \alpha \cos \theta \, dS}{r^2}, \quad (2—110)$$

denumită *coeficient de iluminare*, nu are dimensiuni. Se observă că mărimea coeficientului de iluminare depinde numai de elementele geometrice ale sistemului panou-punct de calcul al iluminării. De aceea, practic, determinarea iluminării produse de un panou luminos într-un punct dat se reduce la calculul coeficientului e .

În unele cazuri este avantajos ca expresia lui e să se pună sub o altă formă. Considerînd din nou sistemul suprafață S -punct P , se duce o sferă cu raza unitate și centrul în P (fig. 2.52). Unghiul solid $d\Omega$ sub care se vede suprafața elementară dS din punctul P este, evident :

$$d\Omega = dS' = \frac{dS \cos \alpha}{r^2}. \quad (2—111)$$

Înlocuind relația (2—111) în (2—110) se obține :

$$e = \frac{1}{\pi} \int dS' \cos \theta. \quad (2—112)$$

Pe de altă parte, produsul $dS' \cos \theta$ reprezintă tocmai proiecția elementului de suprafață dS' pe planul de calcul al iluminării ; notînd deci :

$$dS'' = dS' \cos \theta, \quad (2—113)$$

relația (2—112) devine :

$$e = \frac{1}{\pi} \int_S dS'' = \frac{S''}{\pi}. \quad (2—114)$$

Rezultă că valoarea coeficientului de iluminare este cîtuș prin π al proiecției, pe planul de calcul al iluminării, a suprafeței intersectate pe sfera de rază unitate de către unghiul solid sub care se vede din P suprafața panoului luminos.

În continuare se vor calcula coeficienții de iluminare pentru cîteva cazuri uzuale. Fie un panou dreptunghiular orizontal cu dimensiunile din figura 2.53. Se cere să se calculeze iluminarea în planul orizontal în punctul P , proiecția pe acest plan a unuia dintre vîrfurile panoului.

Alegînd un element de suprafață $dS = dx \, dy$ și observînd că $\theta = \alpha$, expresia coeficientului de iluminare (2—110) se scrie :

$$e = \frac{1}{\pi} \int_0^a \int_0^b \frac{\cos^2 \alpha \, dx \, dy}{r^2};$$

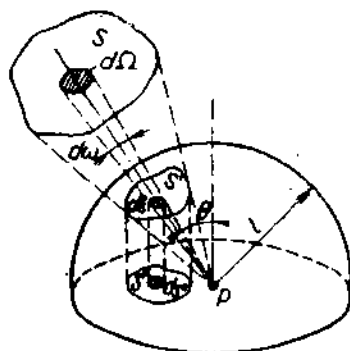


Fig. 2.52. Expresia geometrică a coeficientului de iluminare

însă, în triunghiul PAM , $\cos \alpha = h/l$, iar $l^2 = h^2 + x^2 + y^2$; rezultă :

$$e = \frac{h^2}{\pi} \iint \frac{dx dy}{(h^2 + x^2 + y^2)^2} \quad (2-115)$$

Integrarea se poate efectua pe căile obișnuite; rezultă final :

$$e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} + \frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} \right] \quad (2-116)$$

Sensul geometric al relației (2-116) rezultă din figura 2.54, dacă se observă că :

$$\frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} = \frac{AB}{PB} = \sin \alpha_1; \quad \frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}} = \frac{AD}{PD} = \sin \alpha_2;$$

$$\arctg \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} = \arctg \frac{BC}{PB} = \beta_1; \quad \arctg \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} = \arctg \frac{CD}{PD} = \beta_2,$$

așa încît :

$$e = \frac{1}{2\pi} (\beta_1 \sin \alpha_1 + \beta_2 \sin \alpha_2). \quad (2-117)$$

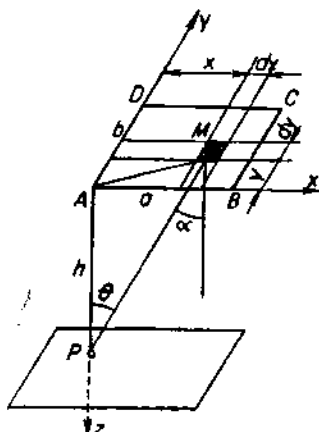


Fig. 2.53. Calculul coeficientului de iluminare pentru un panou dreptunghiular orizontal

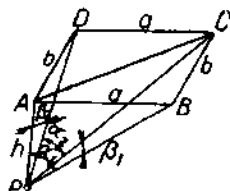
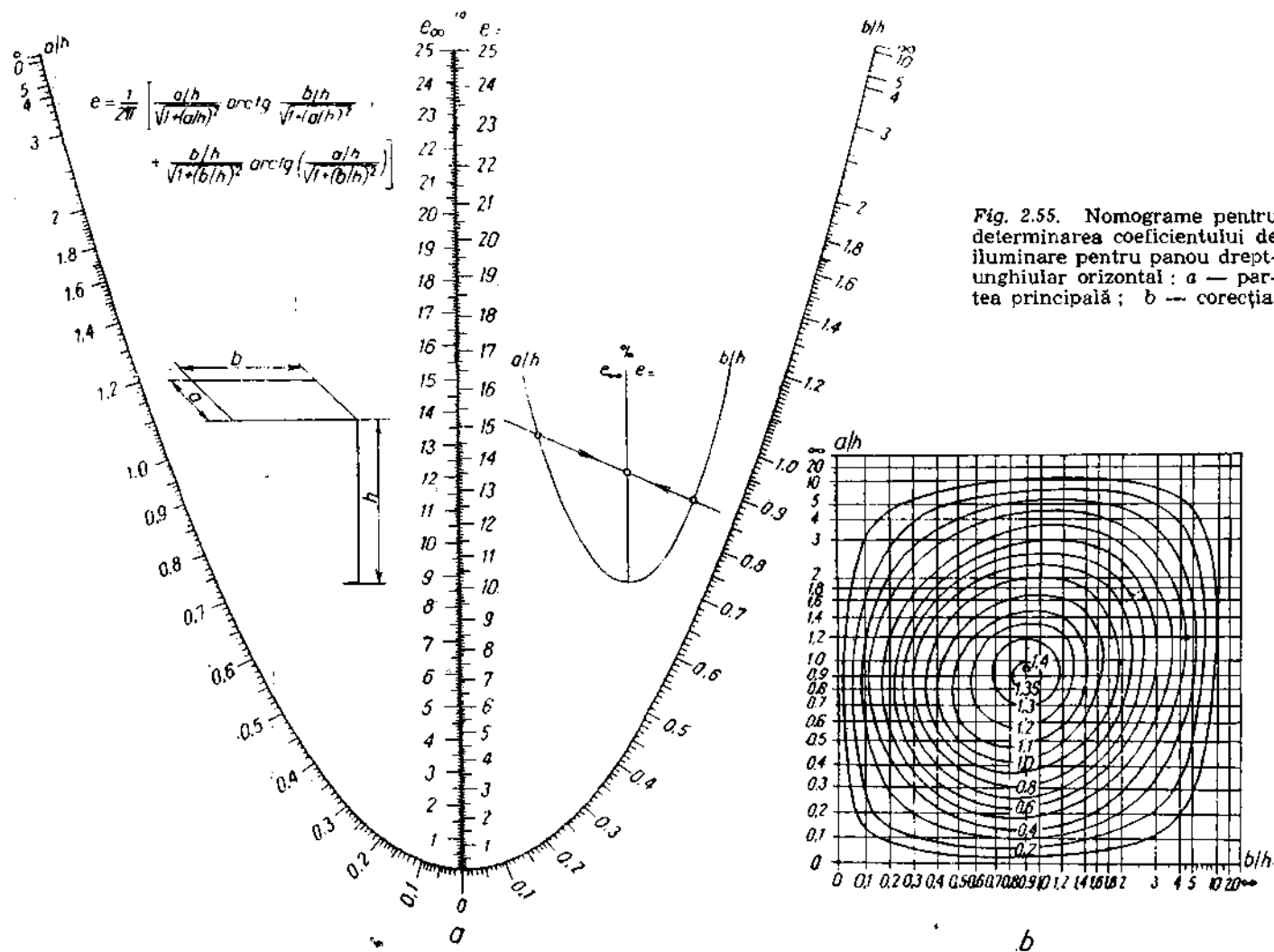


Fig. 2.54. Semnificația geometrică a termenilor din relația (2-116).

Primul, respectiv al doilea termen din paranteză, corespund contribuției panourilor luminoase triunghiulare ABC , respectiv ADC .

Figura 2.55 prezintă modul de calcul al coeficientului de iluminare cu ajutorul a două nomograme : nomograma cu puncte aliniate din figura 2.55, a dă „valoa-



rea principală^{*} a coeficientului de iluminare e' , iar nomograma din figura 2.55, b dă „corecția” e'' . Coeficientul de iluminare $e = e' + e''^*$.

Pentru cazul cînd planul util este normal pe planul panoului luminos dreptunghiular, iar punctul de calcul al iluminării P se găsește pe normala dintr-unul din vîrfurile panoului (figura 2.56), calculele se conduc analog. În triunghiul MAP , $\cos \alpha = h/l$; în triunghiul $MM'P$, $\cos \theta = z/l$ și $l^2 = h^2 + y^2 + z^2$. Înlocuind în relația (2-110), se obține:

$$e = \frac{h}{\pi} \int_0^a \int_0^b \frac{z \, dy \, dz}{(h^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}. \quad (2-118)$$

Efectuînd calculele, se obține:

$$e = \frac{1}{2\pi} \left[\arctg \frac{b}{h} - \frac{h}{\sqrt{h^2 + a^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right]. \quad (2-119)$$

Conform figurii 2.57:

$$\arctg \frac{b}{h} = \arctg \frac{AB}{AP} = \beta_0; \quad \frac{h}{\sqrt{h^2 + a^2}} = \frac{AP}{PD} = \cos \gamma_1;$$

$$\arctg \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} = \arctg \frac{CD}{PD} = \beta_1,$$

așa încît:

$$e = \frac{1}{2\pi} (\beta_0 - \beta_1 \cos \gamma_1). \quad (2-120)$$

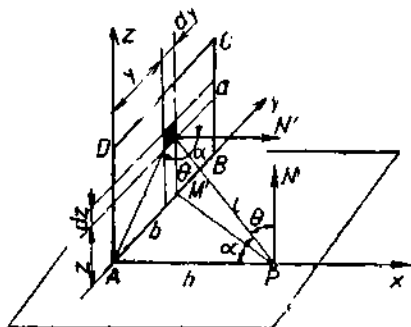


Fig. 2.56. Calculul coeficientului de iluminare pentru panou dreptunghiular vertical

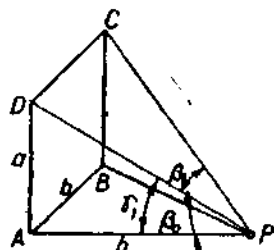
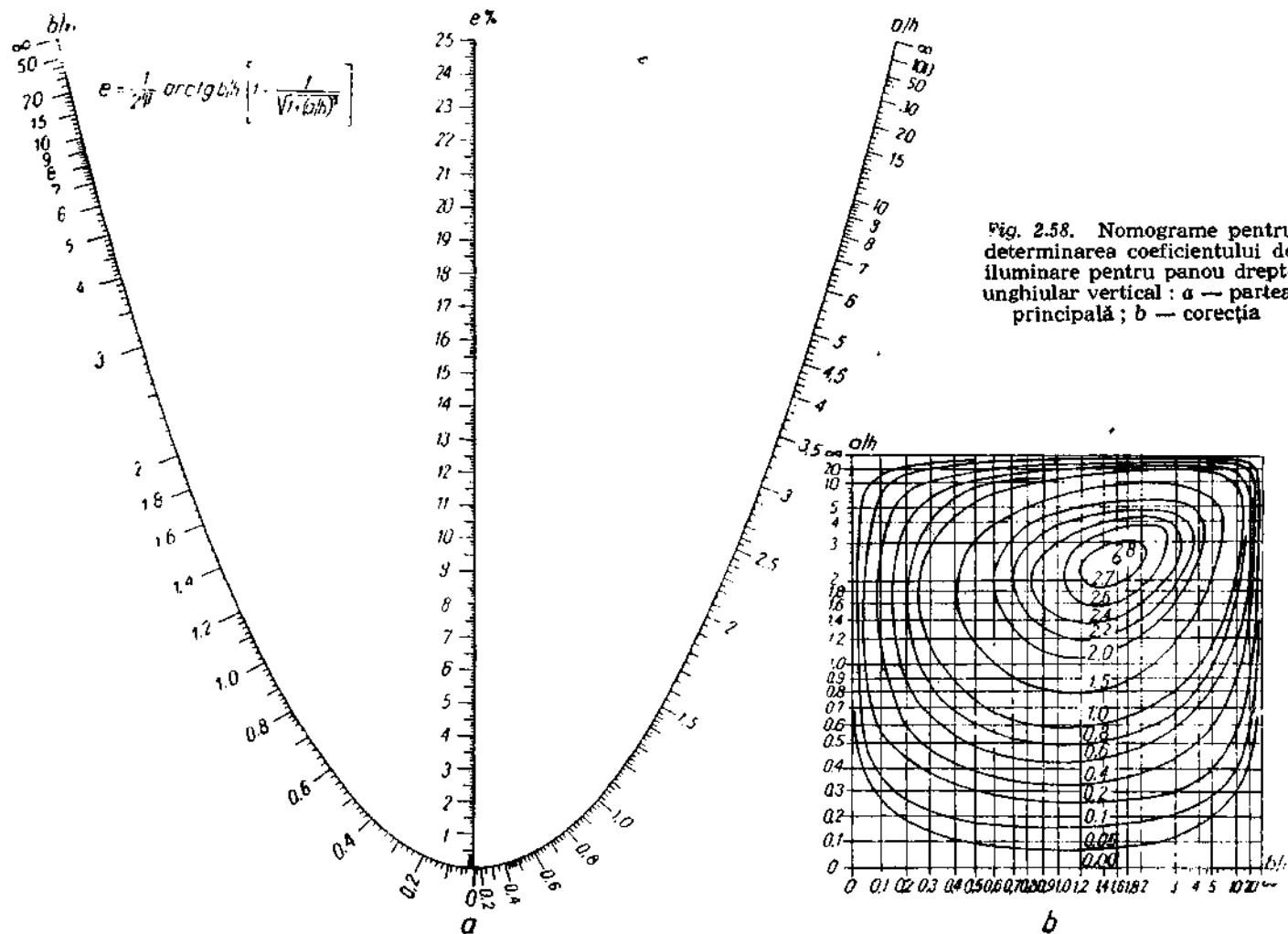


Fig. 2.57. Semnificația geometrică a termenilor din relația (2-119)

Figura 2.58 reprezintă curbele care permit calculul coeficientului de iluminare pentru panoul vertical în funcție de raporturile a/h , b/h , analog cazului din figura 2.55.

* Valoarea e' se citește pe scara e_{∞} . Dacă panoul este pătrat, e' se citește pe scara e_{∞} , iar corecția e'' se consideră nulă.



În cazurile cînd punctul P nu se găsește pe normala la planul panoului dusă prin unul din vîrfurile acestuia, problema se rezolvă în felul următor.

Conform figurii 2.59, a , prin piciorul proiecției punctului P pe panou, P' , se duc două drepte paralele cu laturile acestuia, obținîndu-se patru panouri care se bucură de condiția în limitele căreia s-au făcut calculele. De aceea, în acest caz,

$$e = e_1 + e_2 + e_3 + e_4.$$

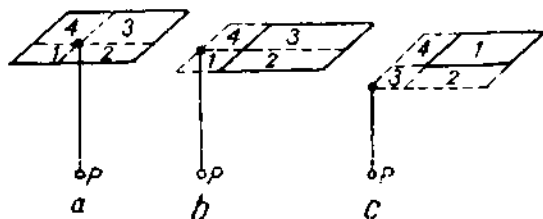


Fig. 2.59. Calculul coeficientului de iluminare pentru panouri luminoase dreptunghiulare în poziție oarecare

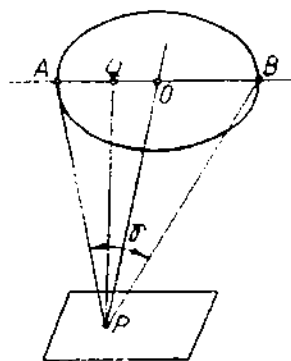


Fig. 2.60. Calculul coeficientului de iluminare pentru disc luminos orizontal

Pentru cazul din figura 2.59, b , se obțin patru panouri fictive, așa încît :

$$e = e_{12} + e_{34} - e_1 - e_4.$$

În fine, în situația din figura 2.59, c :

$$e = e_{1234} - e_{23} - e_{34} + e_3.$$

Pentru calculul coeficientului de iluminare în cazul unui panou în formă de disc (fig. 2.60), efectuînd calculele în mod asemănător, se găsește :

$$e = \frac{1 - \cos \gamma}{2}. \quad (2-121)$$

2.10.4. METODA REFLEXIILOR MULTIPLE ÎN CALCULUL FOTOMETRIC AL INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT

Deoarece prin metoda factorului de utilizare expusă în subcapitolul 2.11 se rezolvă numai problema determinării iluminării totale în planul util, în condițiile creșterii confortului vizual devine necesară găsirea unei metode de calcul al iluminării totale pe toate suprafețele reflectante, în scopul gradării judicioase a luminanțelor în câmpul vizual sau la periferia sa.

În acest scop, s-a elaborat „metoda reflexiilor multiple” ce ține seama de fenomenul real de reflexie într-o cavitate. Această metodă poate fi utilizată

ru determinarea componentei reflectate medii pe o suprafață oarecare din încăperea, adică și pe planul util.

2.10.4.1. Reflexia multiplă într-o cavitate cu o suprafață reflectantă. Fie cavitatea din figura 2.61 cu o suprafață reflectantă S_1 , de factor de reflexie global ρ_1 și o suprafață absorbantă S_2 pentru care factorul de reflexie $\rho_2 \approx 0$.

Sursa de lumină emite un flux Φ_0 , din care o fracțiune φ_1 cade direct pe S_1 . Din acest flux (φ_1) o parte este reflectată $\rho_1 \varphi_1$ și o parte este absorbită $(1 - \rho_1) \varphi_1$. Din fracțiunea reflectată o parte cade pe suprafața S_2 ($\rho_1 u_{12} \varphi_1$), iar cealaltă ($\rho_1 u_{11} \varphi_1$) revine pe S_1 , procesul reflexiei fiind reluat cu această cantitate în mod identic.

Mai jos este arătat, în mod simplificat, procesul reflexiei multiple.

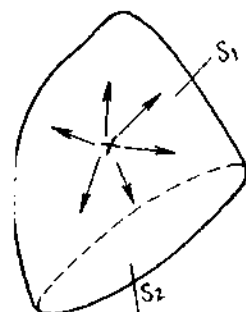
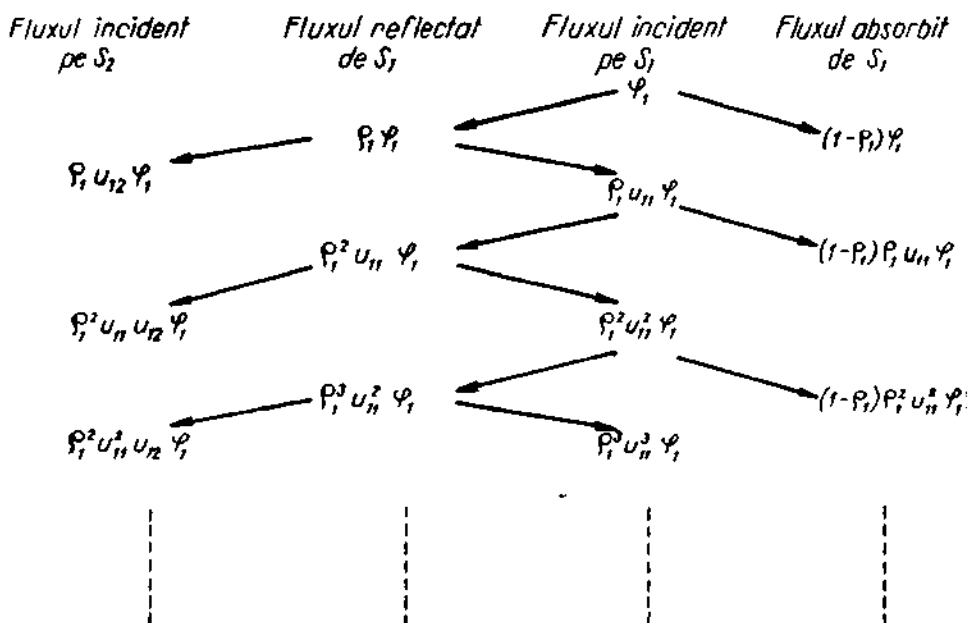


Fig. 2.61. Explicativă la reflexia multiplă într-o cavitate cu o suprafață reflectantă



u_{12} este factorul de utilizare al suprafeței S_2 în raport cu S_1 , reprezentând fracțiunea de flux reflectat de S_1 și care cade pe S_2 , iar u_{11} — factorul de utilizare al suprafeței S_1 în raport cu ea însăși, reprezentând fracțiunea de flux reflectat de S_1 și care cade din nou pe S_1 .

Între u_{12} și u_{11} există relația evidentă :

$$u_{12} = 1 - u_{11}.$$

(2—122)

Dacă se notează cu Φ_1 fluxul total incident pe suprafața S_1 ,

$$\Phi_1 = \varphi_1 (1 + \rho_1 u_{11} + \rho_1^2 u_{11}^2 + \dots) \quad (2-123)$$

sau, ținând seama că expresia din paranteză reprezintă o progresie geometrică cu rație descrescătoare:

$$\Phi_1 = \frac{\varphi_1}{1 - \rho_1 u_{11}}. \quad (2-124)$$

Se definește coeficientul reflexiei multiple al suprafeței S_1 , raportul dintre fluxul total pe suprafața S_1 și fluxul direct pe aceeași suprafață, adică:

$$\gamma_1 = \frac{\Phi_1}{\varphi_1} = \frac{1}{1 - \rho_1 u_{11}} = \frac{1}{1 - \rho_1 (1 - u_{12})}. \quad (2-125)$$

Se observă că γ_1 depinde de factorul de reflexie ρ_1 și de factorul de utilizare u_{12} (respectiv de forma încăperii).

În mod analog, fluxul incident pe suprafața S_2 primit datorită reflexiei multiple în cavitate, exclusiv fluxul direct de la sursă, va fi:

$$\Phi_2 = \frac{\rho_1 u_{12} \Phi_1}{1 - \rho_1 u_{11}}. \quad (2-126)$$

2.10.4.2. Reflexia multiplă într-o cavitate închisă cu n suprafețe reflectante.

Fie o cavitate închisă cu n suprafețe reflectante $S_1, S_2, \dots, S_n$.

Dacă se notează cu $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ fluxurile totale, cu $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ — fluxurile directe, cu $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ — coeficienții reflexiei multiple și cu $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ — factorii de reflexie respectivi, se poate scrie sistemul de n ecuații la care ecuația de ordinul k are forma:

$$\Phi_k = \gamma_k (\rho_1 u_{1k} \Phi_1 + \rho_2 u_{2k} \Phi_2 + \dots + \varphi_k + \dots + \rho_n u_{nk} \Phi_n), \quad (2-127)$$

în care factorul de forma u_{ik} reprezintă „factorul de utilizare” al suprafeței S_k în raport cu suprafața S_i , sau raportul dintre fluxul primit de suprafața S_k de la suprafața luminoasă S_i și fluxul total emis de suprafața S_i .

Cu notațiile:

$$f_{ik} = \gamma_i \rho_k u_{ik} \quad (2-128)$$

și

$$f_{ki} = \gamma_k \rho_i u_{ik}, \quad (2-129)$$

ecuația (2-127) devine:

$$-f_{k1} \Phi_1 - f_{k2} \Phi_2 - \dots + \Phi_k - \dots - f_{kn} \Phi_n = \gamma_k \varphi_k. \quad (2-130)$$

În cazul particular, uzual, al încăperilor paralelipipedice, în care intervin trei suprafețe reflectante: plafon — S_1 , pereți — S_2 și pardoseală — S_3 , se poate scrie sistemul de ecuații

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 - f_{12} \Phi_2 - f_{13} \Phi_3 &= \gamma_1 \varphi_1 \\ -f_{21} \Phi_1 + \Phi_2 - f_{23} \Phi_3 &= \gamma_2 \varphi_2 \\ -f_{31} \Phi_1 - f_{32} \Phi_2 + \Phi_3 &= \gamma_3 \varphi_3 \end{aligned} \right\}. \quad (2-131)$$

Rezolvînd sistemul după regula lui Kramer, rezultă :

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 &= \frac{D_{11}}{D} \Phi_1 + \frac{D_{12}}{D} \Phi_2 + \frac{D_{13}}{D} \Phi_3 \\ \Phi_2 &= \frac{D_{21}}{D} \Phi_1 + \frac{D_{22}}{D} \Phi_2 + \frac{D_{23}}{D} \Phi_3 \\ \Phi_3 &= \frac{D_{31}}{D} \Phi_1 + \frac{D_{32}}{D} \Phi_2 + \frac{D_{33}}{D} \Phi_3 \end{aligned} \right\}, \quad (2-132)$$

în care :

$$D_{11} = \gamma_1 (1 - f_{23} f_{32}) ; \quad D_{12} = \gamma_2 (f_{12} + f_{13} f_{32}) ; \quad D_{13} = \gamma_3 (f_{13} + f_{12} f_{23}) ;$$

$$D_{21} = \gamma_1 (f_{21} + f_{23} f_{31}) ; \quad D_{22} = \gamma_2 (1 - f_{13} f_{31}) ; \quad D_{23} = \gamma_3 (f_{23} + f_{21} f_{13}) ;$$

$$D_{31} = \gamma_1 (f_{31} + f_{32} f_{21}) ; \quad D_{32} = \gamma_2 (f_{32} + f_{31} f_{12}) ; \quad D_{33} = \gamma_3 (1 - f_{12} f_{21}),$$

iar determinantul sistemului :

$$D = 1 - f_{12} f_{21} - f_{13} f_{31} - f_{23} f_{32} - f_{12} f_{23} f_{31} - f_{13} f_{32} f_{21}.$$

Pe de altă parte :

$$\begin{aligned} f_{12} &= \gamma_1 \rho_2 u_{21}, f_{13} = \gamma_1 \rho_3 u_{31}, f_{21} = \gamma_2 \rho_1 u_{12}, f_{23} = \gamma_2 \rho_3 u_{32}, f_{31} = \gamma_3 \rho_1 u_{13}, \\ f_{32} &= \gamma_3 \rho_2 u_{23}. \end{aligned}$$

Se observă că pentru determinarea fluxurilor totale pe oricare din suprafețele reflectante este necesar un număr mare de calcule.

În mod curent, este necesară cunoașterea fluxului total în planul pardoselii (valoare acoperitoare și pentru planul util) Φ_3 , care se poate determina prin ultima ecuație a sistemului (2—132).

În scopul simplificării calculelor, expresiile : $\frac{D_{31}}{D}$, $\frac{D_{32}}{D}$, $\frac{D_{33}}{D}$ se pot extrage din figura 2.62 /9/.

O altă problemă este determinarea fluxurilor directe Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , pentru care se cunoaște relația evidentă :

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = \Phi_c, \quad (2-133)$$

în care Φ_c este fluxul emis de corpul de iluminat.

Pentru situațiile curente, în rezolvările moderne la care corpurile de iluminat sînt montate pe plafon, se poate aproxima fluxul direct pe suprafața plafonului cu fluxul superior emis de corpul de iluminat, adică :

$$\Phi_1 = \Phi_{c\uparrow}. \quad (2-134)$$

Ținînd seama de (2—134), rezultă în mod evident :

$$\Phi_2 + \Phi_3 = \Phi_{c\downarrow}, \quad (2-135)$$

iar fluxul Φ_3 se poate determina cu relația de definiție a iluminării medii :

$$\Phi_3 = E_{m3} S_3, \quad (2-136)$$

în care E_{m3} este iluminarea medie în planul pardoselii, calculată prin metoda punct cu punct.

2.10.4.3. Reflexia multiplă într-o încăpere cu factor de reflexie constant. Pentru încăperile la care factorii de reflexie sînt apropiați ca valoare, ceea ce se

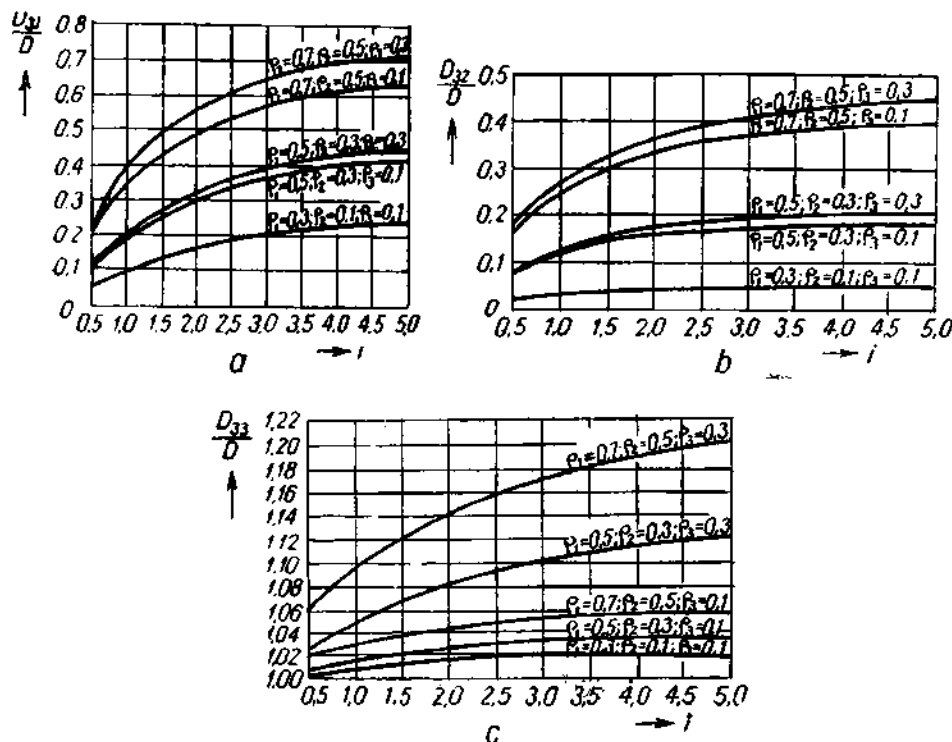


Fig. 2.62. Nomograme pentru determinarea coeficienților $\frac{D_{31}}{D}$, $\frac{D_{32}}{D}$, $\frac{D_{33}}{D}$

întîmplă în mod uzual în construcțiile civile, și la care pardoseala este practic absorbantă ($\rho_1, \rho_2 \gg \rho_3$), calculul componentei reflectate în planul pardoselii E_R se poate face raportînd fluxul reflectat Φ'_3 la suprafața pardoselii S_d :

$$E_R = \frac{\Phi'_3}{S_d}. \quad (2-137)$$

Dar Φ'_3 este dat de relația (2-126), în care se notează :

$\rho_1 = \rho_m$ — factorul de reflexie mediu,

$\varphi_1 = \xi \Phi_c$ — unde ξ reprezintă fracțiunea de flux ce cade direct pe suprafețele reflectante.

Dacă se ține seama de cele de mai sus, de relația (2—122) și de deprecierea în timp a surselor prin factorul de depreciere Δ , rezultă :

$$E_R = \frac{\Delta \rho_m u_{12} \xi \Phi_c}{S_d [1 - \rho_m (1 - u_{12})]} \quad (2—138)$$

În cazul particular al repartiției proporționale a fluxului luminos cu aria suprafețelor reflectante (iluminare uniformă), ceea ce se realizează destul de exact dacă se utilizează corpuri de iluminat cu repartiție mixtă suspendate, se poate scrie că :

$$u_{12} = \frac{S_d}{S_T}, \quad (2—139)$$

în care S_T este suprafața totală a încăperii.

Pentru determinarea fracțiunii de flux ξ , se ia în considerare relația evidentă rezultată din bilanțul de fluxuri :

$$\Phi_c = \xi \Phi_c + \varphi_{dd}, \quad (2—140)$$

în care s-a notat cu φ_{dd} fluxul direct în planul pardoselii și care poate fi calculat prin metoda punct cu punct.

Din (2—140) rezultă :

$$\xi = 1 - \frac{\varphi_{dd}}{\Phi_c}. \quad (2—141)$$

2.11. CALCULUL FOTOMETRIC AL INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT PRIN METODA FACTORULUI DE UTILIZARE

Metoda factorului de utilizare permite determinarea iluminării medii orizontale pe planul util într-o încăpere de formă paralelipipedică, dacă se dau fluxul luminos al corpurilor de iluminat, împreună cu caracteristicile fotogeometrice ale încăperii. Invers, dacă se impune valoarea medie a iluminării, care trebuie realizată conform normelor, pe planul util al unei încăperi date, se poate calcula fluxul luminos necesar al corpurilor de iluminat. De aici rezultă că metoda factorului de utilizare este în primul rînd o metodă de dimensionare a instalațiilor de iluminat.

Metoda factorului de utilizare este folosită astăzi pe scară largă în proiectare ; în cazurile în care este necesară o precizie mai mare, după dimensionarea instalației de iluminat prin metoda factorului de utilizare se face o verificare a acesteia prin metoda punct cu punct și se aduc eventual corecțiile necesare. De aceea metoda factorului de utilizare și metoda punct cu punct nu sînt metode paralele, nu se suprapun ; dimpotrivă, ele se completează una pe alta.

Prin *factor de utilizare* u al unei instalații de iluminat dintr-o încăpere se înțelege raportul dintre fluxul luminos util, care cade pe planul util, direct sau după toate reflexiile posibile pe tavan și pereți Φ_u , și fluxul total Φ_{Σ} al lămpilor din corpurile de iluminat ale instalației respective :

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi_{\Sigma}} \quad (2-142)$$

Notînd cu Δ coeficientul de depreciere, cu S — suprafața planului util, cu n — numărul lămpilor (presupuse identice) și cu Φ_l — fluxul luminos al unei lămpi, iluminarea medie a planului util este :

$$E_{med} = \frac{\Phi_u \Delta}{S} = \frac{u \Phi_{\Sigma} \Delta}{S} = \frac{u \Delta n \Phi_l}{S} ; \quad (2-143)$$

din relația (2-143) rezultă :

$$\Phi_l = \frac{E_{med} S}{u \Delta n} \quad (2-144)$$

Relația (2-144) este relația de dimensionare care stă la baza metodei factorului de utilizare.

Pentru aplicarea relației (2-144) este necesar să se aleagă în mod corespunzător factorii care intervin în membrul al doilea. Iluminarea E_{med} se alege conform normelor (anexa 2, tabelele A, B, C, D) ; suprafața S este cunoscută din datele problemei. În ceea ce privește numărul lămpilor n , determinarea lui se face în conformitate cu gradul de uniformitate al iluminării și cu condițiile arhitectonice ale încăperii (grinzi, ornamente etc.).

Coeficientul de utilizare u este o mărime a cărei valoare depinde de tipul corpurilor de iluminat și de caracteristicile fotogeometrice ale încăperilor. Deoarece coeficientul de depreciere depinde și el de aceleași caracteristici, relația (2-144) se obișnuiește să se scrie sub forma

$$\Phi_l = \frac{E_{med} S}{u n} \quad (2-145)$$

în valoarea coeficientului u din relația (2-145) fiind inclusă și valoarea coeficientului de depreciere Δ .

Factorul de utilizare depinde deci de tipul corpurilor de iluminat : cu cît randamentul acestora va fi mai ridicat și cu cît fluxul lor luminos este îndreptat în mai mare măsură spre suprafața utilă, cu atît u va avea valori mai mari.

În ceea ce privește încăperea, ea influențează valoarea lui u , în primul rînd, conform posibilităților tavanului și pereților de a reflecta lumina. De aceea, cu cît coeficienții de reflexie ai tavanului și pereților (care se iau sau se asimilează cu cei din tabelul 2.3) vor fi mai mari, cu atît u va fi mai mare. Forma încăperii de asemenea influențează valoarea lui u : este clar că mărirea înălțimii încăperii conduce la scăderea ponderii suprafeței utile în suprafața totală, deci la reducerea lui Φ_u și implicit a lui u . Se obișnuiește ca forma încăperii și poziția planului util în încăpere să fie luate în considerare prin așa-numitul *indice al încăperii* i .

Pentru corpurile de iluminat fabricate în România sînt întocmite tabele de factori de utilizare, în care indicele încăperii apare cu valoarea calculată cu relația :

$$i = \frac{0,2 L + 0,8 l}{h} . \quad (2-146)$$

În această relație, L este lungimea încăperii, l — lățimea ei, iar h — înălțimea de suspendare a corpurilor de iluminat deasupra suprafeței de utilizare în cazul iluminatului direct, semidirect și mixt, sau înălțimea tavanului deasupra suprafeței de utilizare în cazul iluminatului indirect și semiindirect.

Înălțimea planului util deasupra dușumelei se alege din STAS 6646-66, în funcție de destinația încăperii pentru construcțiile civile, iar pentru încăperile construcțiilor industriale se determină de la caz la caz, în funcție de planul în care se desfășoară procesul de muncă. Înălțimea de atîrnare se alege astfel încît să se îndeplinească condițiile de protecție vizuale (evitarea luminanțelor în câmpul vizual), condițiile de protecție mecanică a corpurilor de iluminat și protecția împotriva tensiunilor de atingere.

Rezultă deci că :

$$u = f(\text{tipul corpurilor de iluminat}, \rho_i, \rho_p, i) . \quad (2-147)$$

Funcția (2-147) este redată în tabele întocmite pe baza a numeroase experimentări (vezi anexa 2, tabelele E și F.).

La aplicarea tabelelor, pentru determinarea factorului de utilizare, trebuie să se țină seama de anumite particularități. Astfel, în valoarea factorului de utilizare este cuprinsă și valoarea factorului de depreciere $K = \frac{1}{\Delta}$ (2-77), pentru condițiile medii din punctul de vedere al degajării de praf sau fum. Însă normele (STAS 6646-66 — tabel 3) dau valorile coeficientului de depreciere K avînd în vedere degajările reale din încăpere în funcție de procesul de producție. În general, este posibil ca valoarea din STAS 6646-66 a lui K_s să difere de valoarea K din tabelele anexate. În acest caz, factorul de utilizare u extras din tabele trebuie corectat cu raportul K/K_s , obținîndu-se valoarea factorului de utilizare corectat u_s , adică :

$$u_s = u \frac{K}{K_s} . \quad (2-148)$$

În cazul utilizării tabelelor generale (anexa 2), dacă randamentul corpului de iluminat folosit η'_a diferă de randamentul η_a indicat în tabele, factorul de utilizare trebuie corectat cu raportul η'_a/η_a , adică :

$$u' = u \frac{\eta'_a}{\eta_a} , \quad (2-149)$$

în care u' este factorul de utilizare corectat în funcție de randament.

Trebuie arătat că formula (2-145) poate fi folosită și în alte feluri. Astfel, exprimînd pe E_{med} , relația se transformă într-o formulă de verificare a nivelului

mediu al iluminării asigurate de o anumită instalație; dacă se exprimă n , se poate determina numărul de lămpi de un anumit tip care sînt necesare pentru realizarea unei anumite iluminări într-o încăpere dată etc.

2.12. INFLUENȚA CONDIȚIILOR DE ILUMINAT ASUPRA ACTIVITĂȚII OMENEȘTI

2.12.1. INFLUENȚA CONDIȚIILOR DE ILUMINAT ASUPRA FACULTĂȚILOR VIZUALE

Instalațiile de iluminat trebuie să corespundă anumitor cerințe impuse de fiziologia ochiului, pentru a se crea condiții satisfăcătoare de activitate. Dacă iluminatul nu este corespunzător, apare în scurt timp oboseala ochilor, ceea ce poate conduce în timp la îmbolnăvirea acestora, la surmenaj ș.a.; de asemenea iluminatul incorrect se resimte negativ în ce privește productivitatea muncii, frecvența accidentelor etc.

Proprietățile fiziologice ale ochiului pot fi exprimate, pînă la un anumit punct, pe cale cantitativă, după cum se arată mai jos. În aprecierea calității iluminatului trebuie verificat ca unii sau eventual toți indicii să corespundă limitelor normale, deduse din experiență.

a. Sensibilitatea de contrast. Perceperea obiectelor din jur pe cale vizuală se datorește, după cum s-a văzut, luminanței acestora; distingerea lor sau a detaliilor obiectelor rezultă ca urmare a diferențelor existente între culorile acestora sau între luminanțele lor. Considerînd un obiect oarecare care are o luminanță L și care este privit pe un fond de luminanță L_0 și de aceeași culoare cu obiectul, raportul:

$$K = \frac{|L_0 - L|}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}, \quad (2-150)$$

se numește *contrast*; cu cît contrastul este mai mare, cu atît obiectul se va distinge mai bine. Pentru un contrast minim, K_{min} , obiectul nu mai poate fi distins de fond. Inversul lui K_{min} se numește *sensibilitate de contrast* și se notează cu A .

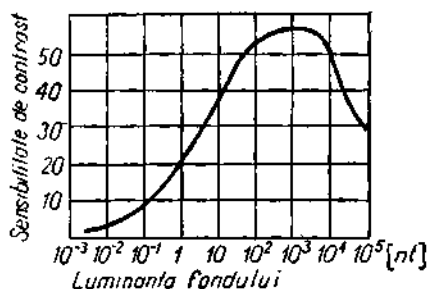


Fig. 2.63. Variația sensibilității de contrast cu luminanța fondului

Este clar că pentru asigurarea condițiilor de lucru bune trebuie ca iluminatul să asigure un contrast între obiecte mai mare decît inversul sensibilității de contrast.

Pentru ochiul normal, sensibilitatea de contrast se modifică cu luminanța fondului conform figurii 2.63.

b. Fenomenul de orbire. Prin orbire se înțelege senzația vizuală și chiar dureră care se produce atunci cînd în câmpul vizual se găsește un obiect cu lumi-

nanță mare. Orbirea poate să conducă la accidente, cu deosebire noaptea, în locurile cu circulație auto, datorită farurilor automobilelor.

Fenomenul de orbire se datorește insuficienței de adaptare sau strălucirii prea mari a obiectelor privite.

Adaptarea se realizează pe două căi : prin reflexul pupilar și prin migrarea pigmentului retinian între celulele fotosensibile ale retinei ; celulele fiind mai mult sau mai puțin acoperite, suprafața oferită de acestea luminii este modificată, manifestându-se astfel un fenomen de apărare împotriva excesului de lumină. Adaptarea pe calea deplasării pigmentului retinian se realizează însă mult mai lent decât cea prin modificarea suprafeței pupilei.

La trecerea de la întuneric la lumină are loc un fenomen de orbire datorat faptului că pupila este mult deschisă iar pigmentul retinian lasă libere celulele sensibile. Adaptarea în acest caz se produce repede, în câteva secunde. Adaptarea inversă, de la lumină la întuneric durează însă aproape o oră. În ambele cazuri fenomenul de orbire are un caracter trecător.

Trecerea repetată de la lumină la întuneric, adaptarea repetată produce oboseala ochilor, precum și creșterea duratei de adaptare. Acest fenomen se produce și când privirea este plimbată în diferite părți ale unei încăperi, în care zone luminoase alternează cu zone întunecoase ; rezultă că instalațiile de iluminat nu trebuie să producă în încăpere contraste de umbră și lumină.

Atunci când luminanța obiectelor (sau a unui singur obiect) privite este mare (peste 6,5. 10⁴ nt) fenomenul de orbire are un caracter permanent ; la adaptarea maximă iluminarea retinei (a celulelor fotosensibile) depășește limita normală. În asemenea cazuri ochiul se apără obturând pupila prin pleoape.

Fenomenul de orbire se poate datora însăși sursei de lumină (orbire directă) sau imaginii reflectate a acesteia pe suprafețe lucioase (cu ρ mare) (orbire prin reflexie). Instalațiile de iluminat trebuie dimensionate astfel încât prin construcția surselor de lumină și prin așezarea potrivită a acestora să se evite ambele căi de producere a fenomenului de orbire.

c. Acuitatea vizuală. În anumite condiții de iluminare ochiul omenesc poate deosebi două puncte care se găsesc în poziții corespunzătoare unui anumit unghi între razele vizuale. Inversul acestui unghi se numește *acuitatea vizuală* ; cu cât acuitatea vizuală a ochiului este mai ridicată, cu atât acesta poate distinge detalii mai apropiate. Pentru ochiul normal, acuitatea vizuală corespunde unghiului de un minut.

Acuitatea vizuală depinde de luminanța fondului ; pînă la o luminanță de circa 30 nt acuitatea vizuală crește rapid, apoi ea rămîne aproximativ constantă.

d. Rapiditatea percepției vizuale. Senzația vizuală apare cu o anumită întârziere față de momentul formării imaginii pe retină ; inversul acestui interval de timp se numește *rapiditatea percepției vizuale*, care crește repede pentru luminanțe pînă la circa 150 nt și mai încet pentru valori mai mari.

e. Timpul de acomodare. Timpul de acomodare măsoară durata intervalului necesar pentru formarea pe retină a imaginii clare a obiectelor aflate la diferite distanțe. Timpul de acomodare scade odată cu creșterea contrastului dintre obiect și fond.

f. Continuitatea vederii clare. Dacă ochiul privește fix un anumit obiect, acesta este perceput clar un anumit interval de timp, apoi perceperea sa devine neclară din cauza oboselii ochiului. Raportul dintre intervalul de timp cât obiectul este perceput clar și timpul total cât acesta este privit (de obicei 3 minute) se numește *continuitatea vederii clare*. Luminanța fondului influențează și continuitatea vederii clare; pentru valori mici ale luminanței continuitatea vederii clare crește repede, iar la valori mari (peste circa 15 nt) rămâne aproape constantă.

g. Oboseala vizuală. Activitatea vizuală îndelungată și intensă produce oboseala vizuală, care se manifestă prin micșorarea atenției, confuzia obiectelor privite, dureri în temple etc. Oboseala vizuală are repercursiuni negative asupra sensibilității de contrast, a acuității vizuale, a rapidității percepției vizuale și mai ales a continuității vederii clare. Ea se instaurează mai repede atunci când luminanța obiectelor privite este prea mică sau când luminanțele sînt repartizate neuniform pe planul de lucru. Ținînd seama de relația de proporționalitate dintre luminanță și iluminare (v. rel. 2—66), se poate spune că luminanța insuficientă sau neuniform repartizată pe suprafața de lucru conduce la oboseala vizuală rapidă a ochiului.

2.12.2. CONDIȚIILE DE ILUMINAT ȘI ACTIVITATEA OMENEASCĂ

Iluminarea corectă a locului de muncă constituie o componentă importantă a confortului; ea întîrzie apariția oboselii vizuale, contribuind la realizarea unei productivități mărite și la micșorarea frecvenței accidentelor de muncă.

Legătura dintre continuitatea vederii clare și productivitatea muncii, pe de o parte, și numărul orelor de lucru în diferite condiții de iluminare este dată în fig. 2.64. Se vede că între continuitatea vederii clare și productivitate există o legătură; de asemenea, atît productivitatea muncii cît și continuitatea vederii clare se mențin la un nivel mai ridicat dacă luminanța suprafeței de lucru este mai mare.

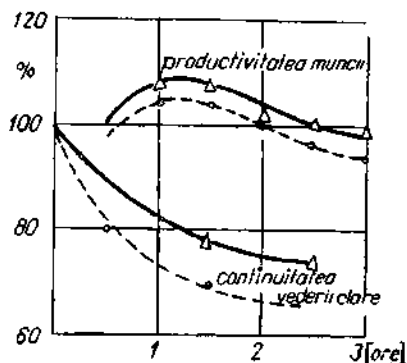


Fig. 2.64. Variația productivității muncii și a continuității vederii clare :
 Δ — Δ — luminanța fondului 113 nt ;
 o—o — luminanța fondului 22 nt

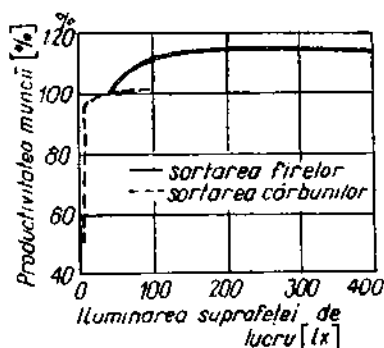


Fig. 2.65. Productivitatea muncii și iluminarea

Experimentările au arătat că productivitatea muncii crește repede cu iluminarea (luminanța) pentru valori mici ale acesteia; pentru valori mari ale acesteia productivitatea se menține practic constantă (fig. 2.65). Pe de altă parte, cu cât activitatea este de precizie mai mare, cu atât valoarea iluminării minime care asigură productivitatea maximă (colul curbei din figura 2.65) este mai mare. De aceea nivelul de iluminare recomandat depinde de natura activității desfășurate în încăperea respectivă.

Iluminarea corespunzătoare a locului de muncă contribuie la micșorarea frecvenței accidentelor. Acest lucru rezultă, de exemplu, din statistica privitoare la frecvența accidentelor de circulație în cursul lunilor unui an: în lunile de vară, când iluminarea naturală este mai ridicată și ziua mai lungă, frecvența accidentelor este simțitor mai mică decât în lunile de iarnă.

2.12.3. CONCLUZII

a. Iluminatul de bună calitate asigură condiții favorabile pentru desfășurarea activității omenești. Dimpotrivă, calitatea slabă a iluminatului provoacă oboseala vizuală rapidă, micșorează productivitatea muncii și mărește probabilitatea producerii accidentelor.

b. Iluminatul de calitate asigură o luminanță potrivită a planului de lucru (fondului) și un contrast suficient al detaliilor. În ceea ce privește fondul, neuniformitatea redusă a luminanței acestuia, alături de valoarea absolută potrivită a luminanței medii a lui, caracterizează o bună instalație de iluminat.

c. Ținând seama de proporționalitatea dintre luminanță și iluminare (2—63), iluminarea planului de lucru trebuie să fie suficientă, cu atât mai mare cu cât activitatea dăscă cere atenție și precizie mai mare. Totodată, trebuie evitate zonele de lumină și de umbră pe planul util și în general în încăperea, pentru a nu produce oboseala vizuală.

d. Trebuie acordată o atenție deosebită evitării fenomenului de orbire, atât al orbirii directe — prin alegerea și așezarea potrivită a surselor de lumină în încăperea — cât și al orbirii prin reflexie.

e. La alegerea surselor de lumină trebuie ținut seama de compoziția spectrală a fluxului luminos. În încăperile lipsite în permanență de lumină naturală, culoarea luminii este mai puțin importantă; în încăperile în care iluminatul artificial completează sau continuă iluminatul natural, este necesar ca izvoarele de lumină să asigure culori apropiate de lumina zilei. De asemenea, încăperile învecinate este bine să fie iluminate cu surse de aceeași culoare.

f. Trebuie arătat că între nivelul de iluminare realizat și culoarea luminii trebuie să existe o anumită relație, dictată de considerente psihologice. Lumina bogată în radiații

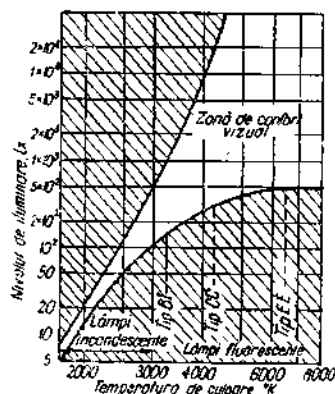


Fig. 2.66. Diagrama de confort vizual (Hirsh)

roșii și galbene (culori calde), deci cu temperatură de culoare mai coborâtă, se utilizează întotdeauna în cazul nivelurilor de iluminare mai joase; lumina cu conținut mai mare în radiații alb-albastru (culori reci), caracterizată prin temperaturi de culoare ridicată, se asociază nivelurilor de iluminare mare. Figura 2.66 prezintă diagrama de confort vizual a lui Kruithof, care dă corelația dintre nivelul de iluminare cerut și temperatura de culoare.

2.13. CONFORTUL VIZUAL ÎN INSTALAȚIILE DE ILUMINAT INTERIOR. CALITATEA ILUMINATULUI ȘI APRECIEREA EI PRIN CALCUL

Prin analogie cu microclimatul termic al unei încăperi se poate defini un „microclimat luminos”, reprezentând întregul ansamblu al factorilor lumino-tehnici, care contribuie direct sau indirect la realizarea iluminatului artificial al încăperii.

Factorii lumino-tehnici, al căror studiu s-a făcut în capitolele anterioare, pot fi sistematizați astfel: factori de natură cantitativă (nivelul de iluminare mediu și uniformitatea iluminării în planul util); factori de natură calitativă (modul de repartizare a fluxului luminos în emisfera superioară și cea inferioară, repartizarea luminanțelor în câmpul vizual, natura surselor luminoase caracterizate prin culoare și compoziție spectrală, culoarea suprafețelor reflectante).

2.13.1. FACTORI CANTITATIVI ÎN REALIZAREA ILUMINATULUI INTERIOR

2.13.1.1. Nivelul de iluminare mediu reprezintă factorul cantitativ de mare importanță în realizarea confortului.

Obiectele sînt percepute datorită luminanței lor și se disting mai mult sau mai puțin datorită diferenței de luminanțe între fond și detaliu (contrast). Cu cît contrastul este mai scăzut cu atît luminanța fondului trebuie să fie mai ridicată. Pe de altă parte, luminanța este proporțională cu iluminarea pentru suprafețele perfect difuzante (așa cum se recomandă să fie fondul) (vezi relația 2—63). Ridicînd nivelul de iluminare, se ridică implicit luminanța, adică se măresc capacitatea de distingere prin îmbunătățirea acuității vizuale, continuitatea vederii clare și celelalte facultăți vizuale.

Nivelul de iluminare este normat prin STAS 6646—66 sub forma unei valori medii admisibile, în funcție de elementele menționate (contraste) și de elemente adiacente, ca: mărimea detaliilor de observat, factorii de reflexie ai suprafețelor detaliilor și fondului, de procesul de muncă, destindere sau odihnă din încăpere. Ținînd seama de aceste considerente, normele indică niveluri de iluminare diferențiate pentru construcții civile și industriale, pentru iluminat cu surse incandescente sau fluorescente.

În funcție de elementele indicate, nivelul de iluminare recomandat variază în limite largi. Astfel, pentru scări, coridoare, în cadrul iluminatului incandescent/fluorescent se admit 10/50 lx; în birouri, unele magazine, săli de desen,

muzeu și expoziții se recomandă 150/300 lx; pentru sălile de operații din spitale-policlinici se ajunge la 3 000 lx, iar pentru ringurile de box la 2 000—5 000 lx.

La alegerea nivelului de iluminare pentru surse luminoase fluorescente trebuie să se țină seama de legătura dintre culoarea spectrală a lămpii și nivelul de iluminare ales, în sensul respectării pragului minim de confort vizual indicat prin diagrama lui Kruithof.

În normele altor țări se indică numai nivelul de iluminare, fără a se specifica sursa, alegerea sursei fiind determinată de condițiile generale ale confortului vizual.

2.13.1.2. Uniformitatea iluminării în planul util. Realizarea uniformității iluminării este dictată atât de necesitatea înlăturării oboselii vizuale, determinată de acomodarea dificilă a ochiului la niveluri diferite în planul de lucru, cât și de utilizarea rațională a fluxului luminos.

În acest scop, se normează pentru planul util valorile admisibile ale factorilor de uniformitate minim-mediu $\left(\frac{E_{min}}{E_{med}}\right)$ pentru construcțiile civile, minim-mediu $\left(\frac{E_{min}}{E_{med}}\right)$ și minim-maxim $\left(\frac{E_{min}}{E_{max}}\right)$ pentru construcțiile industriale. De asemenea, pentru suprafața de lucru (banc, masă de lucru etc.), indiferent de destinația construcției, se normează factorul de uniformitate minim-maxim.

Tabelul 2.5

Specificul construcției	Factori de uniformitate		
	În planul util		Supr.lucru
	E_{min}/E_{max}	E_{min}/E_{med}	E_{min}/E_{max}
Construcții industriale (cat. I—IV)	0,3	0,65	0,65
Idem (cat. V—VI)	0,2	0,4	0,65
Construcții civile	—	0,5	0,65

2.13.2. FACTORI CALITATIVI ÎN REALIZAREA ILUMINATULUI INTERIOR

2.13.2.1. Modul de repartizare a fluxului luminos în cele două emisfere în funcție de destinația încăperii și de necesitățile de percepere a detaliilor.

După sistemul de iluminat direct sau indirect, fluxul luminos este dirijat sau difuzat către planul util.

În cazul iluminării cu flux dirijat, obiectele determină producerea de umbre pronunțate, marginile lor sînt puternic reliefate, contrastele de luminanță dintre suprafețele diferit orientate față de direcția luminii sînt mari. De aceea, detaliile a căror suprafață este normală pe direcția intensității luminoase vor fi greu de perceput, în schimb cele orientate sub alte unghiuri primesc relief datorită umbrelor care se formează.

În cazul iluminării cu flux difuz, umbrele sînt în mare măsură înlăturate. Contrastele dintre detalii sînt mici, indiferent de orientarea lor. Obiectele se

detașează mai puțin de fond, se obține o imagine plată, ieșind în relief detaliile al căror factor de reflexie este diferit de cel al fondului.

Combinând în diferite proporții fluxul luminos dirijat și fluxul difuz se obțin efecte intermediare, care permit desfășurarea în condiții optime a diverselor feluri de activități.

2.13.2.2. Repartizarea judicioasă a luminanțelor în câmpul vizual, în vederea eliminării fenomenului de orbire ce poate apare sub forma de orbire prin contrast, orbire directă sau prin reflexie.

Fenomenul de orbire prin contrast apare mai ales ca urmare a diferenței de luminanțe (contrastului) între sursa luminoasă și fond (plafon, pereți). Cui suprafețele luminoase și plafonul sînt în general perfect difuzante, rezultă că luminanța lor depinde de nivelul de iluminare, fiind în strînsă legătură cu modul de repartizare a fluxului luminos. Prin urmare, pentru micșorarea contrastului dintre sursă și fond trebuie să se mărească iluminarea fondului, luînd totodată măsuri de scădere a luminanței sursei.

Fenomenul de orbire directă se produce datorită luminanței atît a surselor luminoase din câmpul vizual, cît și altor surse. Respectînd condițiile impuse de norme (unghi de protecție, luminanțe limită, înălțimi de atîrnare) și eliminînd sau ecranînd alte surse de luminanță din zona de lucru (lămpi de semnalizare, materiale incandescente etc.), se poate diminua în mare măsură fenomenul de orbire directă.

Fenomenul de orbire prin reflexie, care apare datorită reflexiei regulate pe anumite suprafețe din câmpul vizual, se poate elimina prin scoaterea lor din acest câmp sau prin acoperirea suprafețelor cu vopsele cu reflexie perfect difuză.

2.13.2.3. Natura surselor luminoase din punctul de vedere al culorii. Pentru distingerea corectă a culorilor, în scopul redării lor reale în procesul de muncă, trebuie alese lămpile cu culorile spectrale cele mai adecvate destinației, fie ele calde sau reci. Pentru încăperile de destindere sau odihnă culorile vor fi de regulă calde.

În industria textilă, a lacurilor sau a vopselelor, sau în magazine de produse colorate, iluminatul prevăzut (de regulă fluorescent) trebuie să redea corect culorile în vederea realizării unei producții de calitate (industrie) sau unei desfaceri corecte a mărfurilor (magazine). De asemenea, într-o expoziție de pictură, efectul estetic poate fi realizat sau compromis în funcție de culoarea luminii utilizate (pentru redarea corectă a culorilor trebuie să se utilizeze iluminat fluorescent alb superior).

În încăperile în care procesul de muncă are loc atît la iluminatul natural cît și la cel artificial sau combinat, este necesar ca sursele de lumină să aibă o compoziție spectrală apropiată de cea a luminii de zi, în măsura în care aceasta nu deranjează din punct de vedere al redării culorilor sau al realizării unei ambianțe calde.

De asemenea, în aceeași încăpere se vor prevedea surse de culoare identică, iar în încăperile învecinate surse identice sau apropiate, pentru a evita iluminarea suprafețelor învecinate cu culori diferite, ceea ce ar putea provoca contraste de culoare neplăcute.

2.13.2.4. **Culoarea suprafețelor reflectante (pereți, plafon).** Deoarece componenta reflectată a iluminării are o valoare importantă, în special în încăperile unde sistemul de iluminat este semidirect, mixt, semiindirect sau indirect, culoarea suprafețelor reflectante are o mare importanță în realizarea confortului vizual.

Astfel, în construcțiile civile este foarte importantă punerea în concordanță a culorii suprafețelor reflectante cu culoarea spectrală a sursei luminoase. De exemplu, dacă culorile sursei sînt calde, culorile suprafețelor reflectante vor fi de asemenea calde, realizîndu-se o armonizare între culoarea componentei directe și a celei reflectate.

În construcțiile industriale este interesantă utilizarea culorilor care să servească funcțiunea încăperii: *culori funcționale*. Aceste culori au rolul să accentueze un efect plăcut sau odihnitor, să diminueze un efect neplăcut, să atragă atenția asupra unor elemente periculoase (de exemplu a unor mașini unelte în mișcare sau elemente care sînt sub tensiune, ce prezintă pericol de electrocutare).

Din punctul de vedere al activității omului în încăpere, culorile calde sînt culori stimulative; culorile reci, în special cele pastelate și estompate sînt liniștitoare. De asemenea, culorile închise (ρ scăzut) și calde se utilizează pentru crearea unei senzații de reducere a dimensiunilor (încăperi mari, prea înalte față de procesul de muncă), iar culorile deschise (ρ mare) și reci se utilizează pentru crearea unei senzații de mărire a dimensiunilor (o sală de conferințe de înălțime mică va avea plafonul zugrăvit în albastru deschis pastelat).

În clădiri social-culturale, administrative, de învățămînt, cercetare, proiectare, se indică utilizarea culorilor calde, în special a celor deschise.

La locuințe se utilizează în general culori calde, la încăperile orientate spre nord — culori calde ușor închise, la cele orientate spre sud — culori reci foarte deschise.

În industrie, la procese tehnologice cu nivel fonic ridicat sau cu degajări mari de căldură, culorile reci sînt cele mai potrivite. Pentru a semnaliza pericolul, culorile calde deschise (galben, portocaliu) sînt cele mai eficiente.

2.13.3. CALITATEA ILUMINATULUI ȘI APRECIEREA EI PRIN CALCUL

Factorii calitativi enumerați definesc în ansamblu calitatea iluminatului. Deoarece există o multitudine de factori, verificarea lor în ansamblu printr-un calcul relativ simplu este dificilă.

Pentru aprecierea efectivă a calității iluminatului s-au întocmit tabele ajutoare pentru zece tipuri de corpuri de iluminat, clasificate pe baza gradului de concentrare a fluxului luminos emis în emisfera inferioară ($\Phi_{\downarrow}$). Cele zece categorii *BZ1*, *BZ2*, ..., *BZ10** diferă prin curbele fotometrice respective; *BZ1* reprezintă repartitia cea mai concentrată, iar *BZ10* repartitia cea mai largă (fig. 2.67).

* Clasificarea *BZ*: clasificare zonală britanică (British Zonal) a fluxului luminos în emisfera inferioară.

În aceste zece categorii se pot încadra prin aproximare toate corpurile de iluminat obișnuite utilizate pentru iluminatul interior.

Corpurile de iluminat fabricate în țară se pot asimila în cinci categorii BZ conform tabelului H din anexa 3.

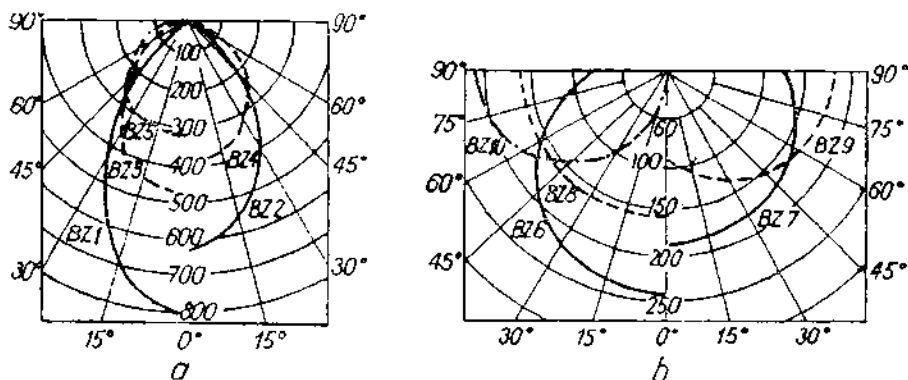


Fig. 2.67. Curbele fotometrice pentru emisfera inferioară, în clasificarea BZ

În cadrul unei anumite categorii BZ, indicele de orbire este funcție de dimensiunile încăperii, proporțiile de flux în cele două emisfere, factorii de reflexie ai pereților, plafonului și pardoselii, de poziția corpurilor de iluminat liniare față de axa vederii.

Aplicarea metodei comportă următoarele etape.

1. Încadrarea corpului de iluminat într-o anumită categorie BZ, în funcție de tipul corpului de iluminat și indicele încăperii pentru luminanță (i_L), care caracterizează geometric încăperea și poziția observatorului în încăpere (anexa 3, tabelul H).

În vederea calculului indicelui încăperii pentru luminanță se utilizează relația :

$$i_L = \frac{A \cdot B}{H(A + B)}, \quad (2-151)$$

în care :

A este dimensiunea încăperii perpendiculară pe axa vederii, în m (fig. 2.68);

B — dimensiunea încăperii paralelă cu axa vederii, în m (fig. 2.68);

H — înălțimea de suspensie a corpului de iluminat deasupra nivelului ochilor, în m (fig. 2.69).

Din figura 2.69 rezultă :

— la încăperile în care oamenii lucrează în picioare, $H = H_m - 1,60$ m, unde H_m este înălțimea de atârănare a corpului de iluminat deasupra planului pardoselii ;

— la încăperile în care oamenii lucrează stînd pe scaun, $H = H_m - 1,25$ m.
 II. Determinarea indicelui final de orbire (I_f) cu relația:

$$I_f = I_i + T_\phi + T_s + T_H \quad (2-152)$$

în care: I_i este indicele inițial de orbire;

T_ϕ — termen de corecție în funcție de fluxul luminos emis în emisfera inferioară $\Phi_\ominus$ de către un singur corp de iluminat;

T_s — termen de corecție în funcție de suprafața luminoasă echivalentă s a corpului de iluminat;

T_H — termen de corecție în funcție de înălțimea de montaj a corpului de iluminat deasupra axei vederii.

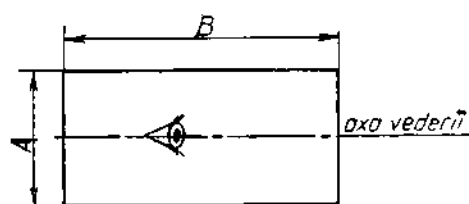
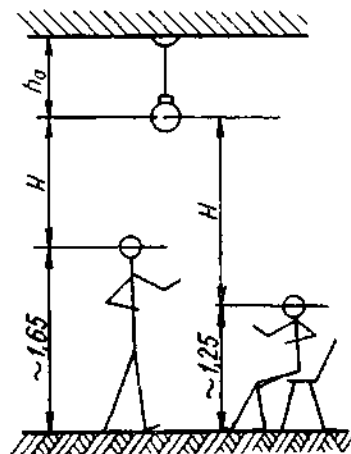


Fig. 2.68. Dimensiunile încăperii față de axa privirii

Fig. 2.69. Definirea înălțimii H (distanța între axa vederii și axa corpului de iluminat)



Indicele inițial de orbire este dat de relația:

$$I_i = I_b + T_c \quad (2-153)$$

în care:

I_b este indicele de orbire de bază;

T_c — termen de corecție determinat din tabelul G, anexa 3, în funcție de fracțiunea de flux emis în emisfera superioară în %, fracțiunea de flux în emisfera inferioară, în %, raportul fracțiunilor de flux în cele două emisfere ($\Phi_\Delta/\Phi_\ominus$) și factorii de reflexie ai suprafețelor plafonului și pereților.

Indicele de orbire de bază se determină din tabelele A, B, ... E anexa 3, în funcție de dimensiunile încăperii A și B exprimate ca un multiplu de H , porțiunile de flux în cele două emisfere, factorii de reflexie ai suprafețelor reflectante (plafon, pereți, pardoseală). La valoarea astfel determinată se aplică corecții, dacă factorul de reflexie al pardoselii are o valoare mai mare de 30% și dacă corpurile de iluminat sînt liniare, în funcție de poziția lor față de axa vederii.

Termenii de corecție T_ϕ , T_s și T_H se extrag din tabelul F anexa 3, ținînd seama de următoarele:

— fluxul luminos Φ_{e} , în lm se determină pentru un singur corp de iluminat adică :

$$\Phi_{\text{e}} = \Phi_{\text{e}} [\%] \Phi_{\text{e}}, \quad (2-154)$$

în care $\Phi_{\text{e}} [\%]$ este fracțiunea de flux în emisfera inferioară, iar Φ_{e} fluxul total al corpului de iluminat, în lm ;

— suprafața luminoasă echivalentă s a corpului de iluminat reprezintă proiecția corpului de iluminat pe un plan perpendicular pe direcția intensității luminoase maxime. Atunci, rezultă pentru corpurile luminoase ale căror proiecții sînt suprafețe dreptunghiulare :

$$s = ab, \text{ [cm}^2\text{]} \quad (2-155)$$

unde a și b sînt proiecțiile laturilor corpului de iluminat pe planul menționat.

III. Se compară indicele final de orbire cu indicele de orbire admisibil (I_{ad} , tabelele I și J, anexa 3); dacă $I_F \leq I_{ad}$, instalația corespunde din punct de vedere calitativ; dacă $I_F > I_{ad}$, soluția adoptată trebuie modificată, influențînd asupra unora din parametrii ce au intervenit în calcul.

Astfel se poate alege fie una din modificările de mai jos, fie o combinație între ele :

a) mărirea proporției de flux în emisfera superioară, ceea ce corespunde unei mărimi a luminanței fondului și deci diminuarea contrastului; acest lucru se poate realiza prin alegerea unui corp de iluminat de o categorie BZ superioară sau prin montarea unui alt corp de iluminat, care să aducă o componentă suplimentară în emisfera superioară ;

b) micșorarea înălțimii de suspensie a corpului de iluminat h_a , ceea ce revine la mărirea înălțimii H ;

c) utilizarea zugrăvelilor de culori deschise perfect difuzante (cu factori de reflexie ridicați) la pereți și plafon și de culori închise (cu factori de reflexie scăzuți) la pardoseală ;

d) eventuala rotire cu 90° în plan orizontal a corpurilor de iluminat liniare ;

e) eventuala rotire cu $20...40^\circ$ în plan vertical a unor corpuri de iluminat la birouri, săli de clasă și analoge. Această soluție coincide cu repartitia asimetrică și dirijată a corpurilor de iluminat, ceea ce face ca proporția de flux luminos emisferic superior să se mărească.

2.14. PROIECTAREA INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT INTERIOR ȘI EXTERIOR

2.14.1. METODOLOGIA DE ELABORARE A PROIECTELOR DE ILUMINAT INTERIOR

Elaborarea unui proiect de iluminat comportă, în general, patru etape :

— alegerea surselor luminoase, sistemului de iluminat și culorii suprafețelor reflectante ;

— calculul cantitativ de dimensionare prin metoda factorului de utilizare ;

— verificarea condițiilor cantitative privind realizarea iluminatului ;

— verificarea condițiilor calitative privind realizarea iluminatului.

2.14.1.1. Alegerea surselor luminoase, sistemului de iluminat și culorii suprafețelor reflectante. Alegerea surselor luminoase din punctul de vedere al naturii lor trebuie făcută ținând seama de destinația încăperii, de procesul de muncă și de alte caracteristici funcționale.

Astfel, sursele luminoase incandescente se recomandă a fi alese în următoarele cazuri:

- timp de utilizare redus;
- când destinația încăperii impune un nivel de iluminare scăzut pe suprafața utilă (săli de cinematografe, coridoare, scări etc.);
- la conectări-deconectări frecvente a surselor luminoase (încăperi de trece);
- când se urmărește obținerea unui mediu plăcut, în culori calde, pentru destindere sau odihnă;
- când se cere un nivel de iluminare ridicat pe o suprafață mică (iluminat local mașini, iluminare ring box la săli de sporturi etc.);
- când condițiile speciale decorative cer surse luminoase punctiforme de luminanțe mari;
- chiar dacă nivelul de iluminare trebuie să fie ridicat, însă condițiile speciale din încăpere (săli operație, mecanisme în mișcare rapidă ce trebuie urmărită vizual) nu permit utilizarea surselor fluorescente care pot prezenta efect stroboscopic sau pîlpîre la conectare.

Sursele luminoase fluorescente sînt indicate a fi alese în următoarele cazuri:

- când se cer iluminări ridicate pe suprafețe mari (cazul general al tuturor încăperilor de producție industrială sau intelectuală);
- când se impun luminanțe relativ scăzute ale surselor;
- când timpul de utilizare a iluminatului artificial este ridicat (mai mare de 2 h/zi);
- în încăperile fără iluminat natural (hale blindate etc.);
- când se cere redarea corectă a culorilor (industria de coloranți, magazine de textile, expoziții de pictură etc.).

Alegerea sistemului de iluminat din punctul de vedere al iluminării planului util (iluminat general, general localizat sau combinat) și din punctul de vedere al repartiției fluxului luminos (direct, semidirect, mixt, semiindirect, indirect) se face în funcție de destinația încăperii și de procesul de muncă din încăpere, așa cum s-a menționat mai înainte.

În urma alegerii sistemului de iluminat din punctul de vedere al repartiției fluxului se poate trece la materializarea sa prin adoptarea unui corp de iluminat corespunzător.

Tot în această etapă pregătitoare se indică * culorile necesare ale suprafețelor reflectante în sensul armonizării acestora cu culorile sursei, astfel încît să se îmbunătățească funcționalitatea încăperii.

* Alegerea culorii suprafețelor reflectante constituie domeniul proiectului de arhitectură, proiectantul de iluminat trebuie să ceară coordonarea culorilor cu necesitățile calitative ale confortului vizual.

2.14.1.2. Calculul cantitativ de dimensionare a instalațiilor de iluminat prin metoda factorului de utilizare. În funcție de caracteristicile geometrice ale încăperii și de importanța ei din punctul de vedere al funcțiunii, metoda factorului de utilizare se aplică în cadrul unui calcul de predimensionare, unui calcul orientativ sau al unui calcul de dimensionare.

Astfel metoda factorului de utilizare va fi folosită în următoarele cazuri.

a) Calcul de predimensionare în încăperile de producție industrială sau intelectuală, cu excepția halelor industriale sau similare din punct de vedere al dimensiunilor (acest calcul va fi urmat de un calcul de verificare prin metoda punct cu punct).

b) Calcul de orientare pentru halele industriale sau similare. În aceste încăperi, datorită dimensiunilor mari și densității de elemente constructive aparente (grinzi din beton armat, grinzi metalice cu zăbrele), a utilajelor de dimensiuni mari și a instalațiilor ce servesc utilajele, reflexiile suprafețelor reflectante sînt foarte scăzute, deci practic neglijabile. În această situație, calculul prin metoda factorului de utilizare poate avea numai un caracter de orientare pentru o primă dimensionare, ce se cere urmată de o verificare prin metoda punct cu punct. Trebuie subliniat că, pentru halele industriale cu procese de producție curate (industria textilă, alimentară), cu suprafețe reflectante de culoare albă, se obțin valori ridicate ale componentei reflectate, deci metoda de calcul a factorului de utilizare are un caracter de calcul de predimensionare.

c) Calcul de dimensionare pentru încăperile mai puțin importante ca funcțiune (încăperi de trecere, acces și evacuare, camere de locuit, depozite, grupuri sanitare etc.).

În urma calculului se determină fluxul luminos necesar și numărul de lămpi în funcție fie de alegerea puterii lămpii, fie în urma unor considerente arhitecturale constructive.

Alegerea puterii lămpii se face ținînd seama de destinația și de procesul de muncă din încăpere. Astfel, la construcțiile civile, la utilizarea surselor incandescente, în scopul evitării luminanțelor ridicate, se pot utiliza lămpi de puteri pînă la 200 W, dacă corpurile de iluminat asigură unghiul de protecție necesar sau sînt echipate cu ecrane, și lămpi pînă la 60 W, de preferință mate sau lăptoase, dacă nu sînt protejate vizual.

Tot la construcțiile civile, la utilizarea surselor fluorescente de joasă presiune, se aleg în general lămpi de 20 și 40 W; lămpile de 65 W se utilizează în cazul alegerii soluției șirurilor luminoase.

La construcțiile industriale (hale), puterea surselor incandescente poate fi ridicată peste 200 W, iar a surselor cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune și balon fluorescent — poate ajunge pînă la valori și mai ridicate, asigurîndu-se condițiile de protecție vizuală.

Amplasarea corpurilor de iluminat se poate realiza în general în trei variante: amplasare simetrică uniformă, amplasare asimetrică dirijată și amplasare asimetrică.

Amplasarea simetrică uniformă este cea utilizată în încăperile obișnuite de lucru din construcțiile civile și industriale, caracteristică surselor luminoase punctiforme, dar care poate fi utilizată și pentru sursele liniare. Distanțele între corpurile de iluminat și față de pereți se pot lua în general ca în figura 2.70, avînd în vedere realizarea iluminării uniforme în planul util.

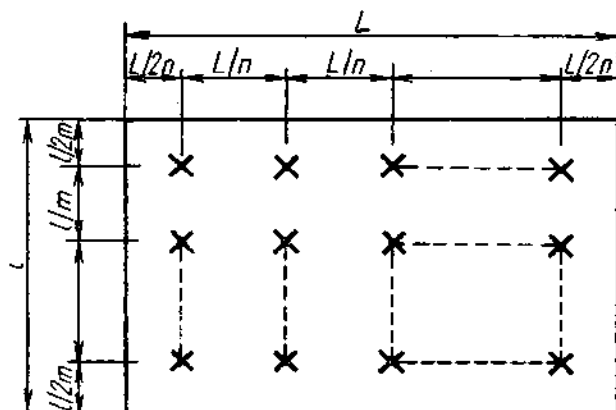


Fig. 2.70. Amplasarea simetrică în plan a corpului de iluminat

Amplasarea asimetrică dirijată se utilizează numai pentru încăperile de lucru din construcțiile civile (săli de proiectare, cercetare, laboratoare, săli de învățămînt, birouri etc.) și numai în ipoteza folosirii surselor luminoase liniare (lămpi fluorescente tubulare), datorită avantajelor ce le prezintă. În figura 2.71 sînt date două soluții de amplasare asimetrică a corpurilor de iluminat.

Acest sistem de amplasare a corpurilor de iluminat prezintă următoarele avantaje.

a) Păstrarea aceleiași direcții de cădere a luminii cu iluminatul natural, prin așezarea paralelă și înclinată a primului șir, ceea ce are ca urmare atît evitarea reflexelor supărătoare pe planul de lucru (orbirea prin reflexie), cît și menținerea aceleiași senzații vizuale independent de sursa utilizată (naturală sau artificială).

b) Corpurile de iluminat de lîngă ferestre sînt orientate către interior, aproape întreg fluxul luminos este primit în încăpere, fiind mult diminuate pierderile de flux prin transparența ferestrelor.

c) Calitatea iluminatului este superioară unei soluții în care corpurile nu sînt înclinate, datorită componentei de flux în emisfera superioară care ridică nivelul de iluminare a plafonului, deci luminanța sa, obținîndu-se o diminuare a contrastului dintre sursă și fond.

Amplasarea asimetrică neîrînjată este determinată, fie de considerente constructive (plafon cu grinzi sau plafon casetat), fie de considerente de plastică arhitecturală (la construcții social-culturale ca săli de spectacole sau anexele lor, magazine, importante obiective la care compoziția arhitecturală impune o rezolvare asimetrică variată a plafonului).

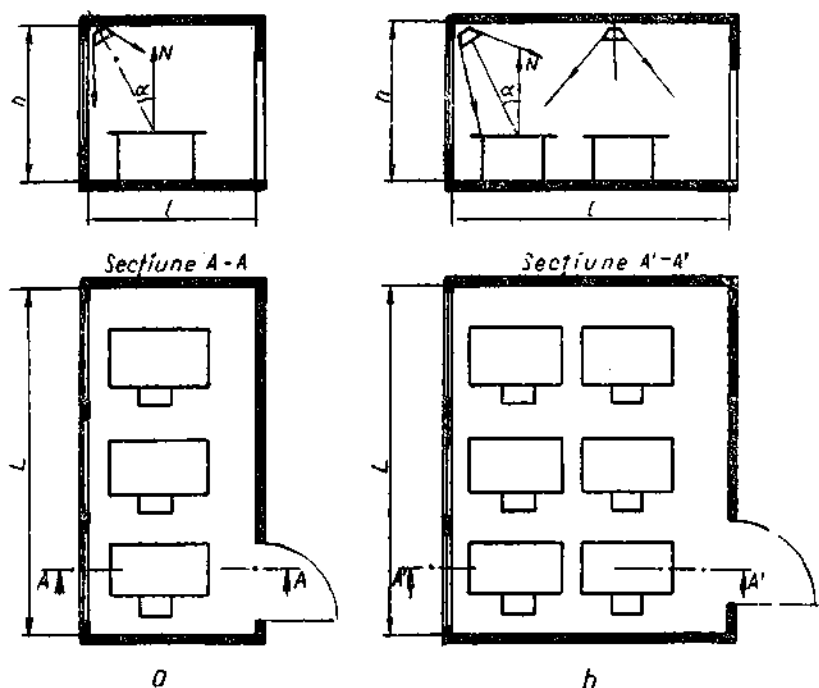


Fig. 2.71. a. Amplasarea asimetrică dirijată a corpurilor de iluminat liniare în ipoteza lățimii reduse a încăperii: $l \leq h + 1,5 \text{ m}$
 b. Amplasarea asimetrică dirijată a corpurilor de iluminat liniare în ipoteza lățimii încăperii peste limita anterioară: $l > h + 1,5 \text{ m}$

2.14.1.3. Verificarea condițiilor cantitative privind realizarea iluminatului. Condițiile cantitative sînt: nivelul de iluminare mediu efectiv realizat și verificarea uniformității iluminării.

În primul rînd, se determină valoarea efectivă a iluminării medii din încăpere prin însumarea componentei directe medii a iluminării, determinate prin metoda punct cu punct, cu componenta reflectată a iluminării (relațiile date în subcapitolul 2.12).

Componenta directă medie a iluminării E_{mD} într-o încăpere se poate determina, în modul cel mai corect, astfel:

— se împarte încăperea în pătrate sau dreptunghiuri cu laturile luate în funcție de dimensiunile încăperii (fig. 2.72);

— se determină iluminarea în centrul fiecărui pătrat;

— se face media aritmetică a iluminărilor, obținîndu-se valoarea căutată.

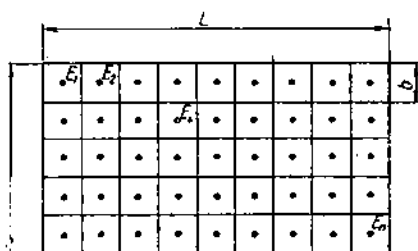


Fig. 2.72. Determinarea iluminării medii în planul util al unei încăperi. Se ia, în general, $a \approx b$ în măsura posibilității de divizare a laturilor L și l în părți egale

Iluminarea medie efectivă în încăpere $(E_{med})_{ef}$ va fi :

$$(E_{med})_{ef} = E_{md} + E_R, \quad (2-156)$$

unde E_R este valoarea componentei reflectate (2-138).

Componenta reflectată E_R se ia în considerare în cazul sistemului de iluminat mixt ; la sistemele de iluminat semidirect și semiindirect, valoarea determinată pentru E_R este orientativă.

Dacă $(E_{med})_{ef} \geq (E_{med})_{ad}$, atunci instalația de iluminat proiectată corespunde sub aspect cantitativ ; dacă însă $(E_{med})_{ef} < (E_{med})_{ad}$, atunci trebuie căutată o altă soluție de iluminat, fie măbind puterea lămpilor la treapta imediat următoare, fie măbind numărul de lămpi prevăzute inițial.

În continuare, a doua condiție cantitativă ce trebuie verificată prin calcul este uniformitatea iluminării în planul util și pe o suprafață de lucru determinată (v. par. 2.13.1.2.).

În verificarea cantitativă a iluminărilor se poate utiliza calculul automat așa cum s-a arătat și la paragraful 2.10.2 și anexa I, tabelul M, pentru surse luminoase liniare, dar care poate fi aplicat în mod analog pentru orice alt tip de sursă. Această metodă oferă posibilitatea determinării rapide a soluției optime de iluminat.

2.14.1.4. Verificarea condițiilor calitative privind realizarea iluminatului. Verificarea condițiilor de calitate se face prin metoda indicilor de orbire, care se aplică conform indicațiilor capitolului precedent, urmărindu-se obținerea unui indice de orbire efectiv sub valoarea indicelui de orbire admisibil.

2.14.2. METODOLOGIA DE ELABORARE A PROIECTELOR DE ILUMINAT EXTERIOR (PUBLIC)

În iluminatul exterior, modul de calcul diferă de cel interior datorită lipsei aportului unor suprafețe reflectante, deci există o componentă directă ce poate fi calculată simplu prin metoda punct cu punct. Elaborarea comportă următoarele etape :

- alegerea surselor luminoase, corpurilor de iluminat și nivelurilor de iluminare ;
- alegerea sistemului de iluminat din punctul de vedere al caracteristicilor geometrice ;
- determinarea grafică sau analitică a distanței dintre surse ;
- verificarea condițiilor cantitative privind realizarea iluminatului.

Metodologia care va fi descrisă în cele ce urmează se aplică iluminatului exterior (public), dar poate fi aplicată prin extensie și altor tipuri de iluminat exterior (spații de depozitare exterioare, triaje, terenuri sportive etc.).

2.14.2.1. Alegerea surselor luminoase, corpurilor de iluminat și nivelurilor de iluminare. Alegerea surselor luminoase se face în funcție de destinația căilor de circulație.

Astfel, iluminatul incandescent se preferă pentru spații verzi cu vegetație de înălțime scăzută ; de asemenea, lămpile incandescente se utilizează în scopul

îmbunătățirii spectrului lămpilor cu vapori de mercur de înaltă presiune și balon fluorescent, atunci când se cere realizarea unor condiții speciale de iluminat din punctul de vedere al culorii.

Pentru căile cu circulație redusă, alei laterale, pe străzile centrale, alei în parcuri cu vegetație înaltă, este indicată alegerea surselor luminoase fluorescente (tubulare) de culoare potrivită (pentru străzi — alb; pentru parcuri — alb cald).

Pentru căile de circulație intensă din orașe importante se utilizează lămpile cu vapori de mercur de înaltă presiune și balon fluorescent, datorită avantajelor ce le prezintă (vezi subcap. 2.7).

În piețe, spații cu circulație intensă, în care este necesar un nivel de iluminare ridicat, acesta poate fi realizat corespunzător utilizând surse luminoase de mare putere (lămpi cu descărcări în arc sau cu xenon).

Căile de circulație importante de legătură rutieră între orașe se pot ilumina fie cu lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune și balon fluorescent, fie cu lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune în zonele expuse ceții.

Nivelurile de iluminare medii se aleg în funcție de fluxul de circulație și de culoarea acoperământului străzii, caracterizat prin factorul de reflexie respectiv, conform tabelului 3 din anexa 2.

În spațiile cu circulație intensă (piețe, intersecții), pentru mărirea securității circulației, nivelurile de iluminare se majorează cu 50% față de valoarea indicată de norme. Pe trotuare, nivelul de iluminare se ia 50% din valoarea nivelului părții carosabile a străzii.

2.14.2.2. Alegerea sistemului de iluminat din punctul de vedere al caracteristicilor geometrice. Din punctul de vedere al dimensiunilor căii de circulație și înălțimii de montaj a corpului de iluminat, există următoarele posibilități de montare a corpurilor de iluminat:

- sistem cu dispunere unilaterală (fig. 2.73, a);
- sistem cu dispunere alternată (fig. 2.73, b);
- sistem cu dispunere bilaterală față în față (fig. 2.73, c);
- sistem cu dispunere axială (fig. 2.73, d).

Sistemele se aleg în funcție de lățimea căii b , de distanța dintre stâlpi a și de înălțimea de montaj h a corpului de iluminat, pe baza relațiilor experimentale indicate în legenda figurilor.

Sistemul de dispunere alternată prezintă o bună uniformitate, realizând simultan o marcare bună a bordurilor, de altfel ca și sistemul de dispunere bilaterală. Aceste avantaje fac ca cele două sisteme să fie utilizate la căile cu frecvență mare de circulație.

Sistemul de dispunere unilaterală marchează numai una din borduri, iar sistemul de dispunere axială atrage atenția asupra axei drumului în dauna bordurilor, ambele sisteme fiind deci utilizabile pe căile cu circulație redusă.

Înălțimea de montaj trebuie aleasă în așa fel încât să se evite orbirea directă, ceea ce cere o înălțime cât mai mare. Ținând seama de considerentele constructive și economice, înălțimea recomandată este $h = 8 \dots 10$ m și chiar mai mult. Pentru bulevarde late, piețe sau intersecții mari, sînt necesare înălțimi mai mari, $h > 12$ m.

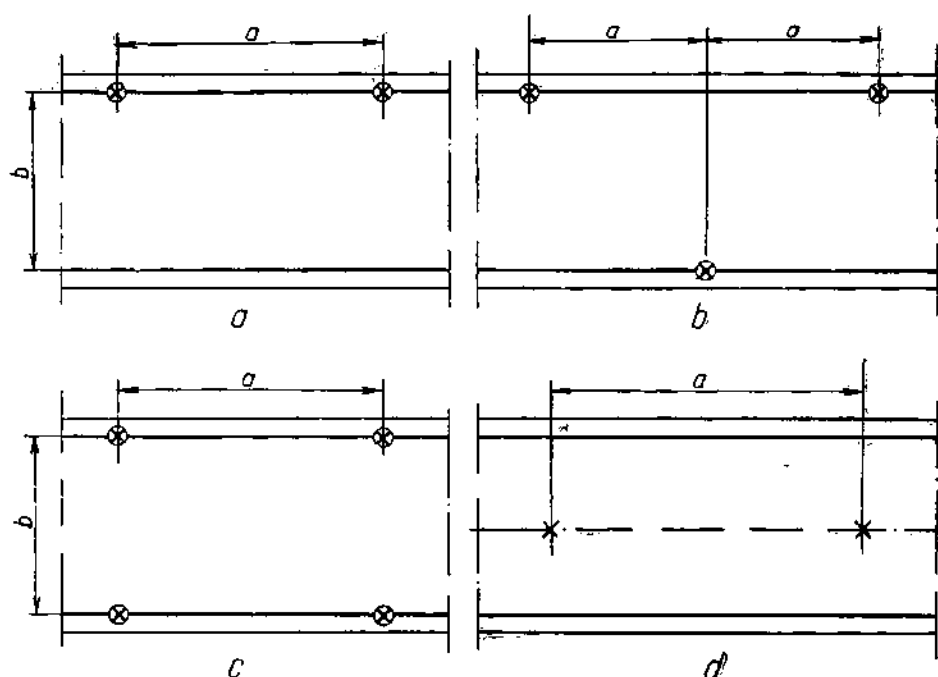


Fig. 2.73. a. Sistem de dispunere unilaterală; condiții de alegere: $b < 12 \text{ m}$ iar $h = b$;
 b. Sistem de dispunere bilaterală alternată; condiții de alegere: $b > 12 \text{ m}$
 și $b < 1,5 h$;
 c. Sistem de dispunere bilaterală față în față; condiții de alegere: $b > 12 \text{ m}$, $b > 1,5 h$,
 iar $a \approx \frac{b}{2}$;
 d. Sistem de dispunere axială; condiții de alegere: $b = 8-9 \text{ m}$, a se determină
 prin calcul

În cartierele de locuințe joase (1—3 niveluri), frecvența și viteza de circulație sînt scăzute; luminanțele surselor neconstituind un pericol, corpurile de iluminat se pot monta la înălțimi $h = 4 \dots 8 \text{ m}$. În spațiile verzi sau în parcuri cu vegetație de înălțime scăzută se montează corpurile de iluminat decorative (pitice).

2.14.2.3. Determinarea grafică sau analitică a distanței dintre corpurile de iluminat. Distanța dintre corpurile de iluminat se poate alege, fie în funcție de datele constructive indicate mai sus, fie în funcție de iluminarea minimă admisă ($E_{\min}$) ce se poate deduce cunoscînd factorul de uniformitate minim-mediu ($E_{\min}/E_{\text{med}}$) și iluminarea medie admisă.

În curbe, în scopul marcării lor clare, distanțele dintre corpurile de iluminat se micșorează și amplasarea lor se face în exteriorul curbei (fig. 2.74). În același scop de marcarea a locurilor periculoase și ridicare a nivelurilor de iluminare, în locurile de circulație intensă, distanța dintre corpurile de iluminat se reduce de exemplu ca în figura 2.74.

2.14.2.4. Verificarea condițiilor cantitative privind realizarea iluminatului. Pentru realizarea unui iluminat exterior corespunzător cantitativ este necesară verificarea prin metoda punct cu punct a nivelului de iluminare mediu în planul căii de circulație.

În calcule se neglijează componenta reflectată datorită acoperământului, care are o valoare scăzută dat fiind factorul de reflexie scăzut al acestuia (excepție face situația acoperământului ud, care dă efecte de orbire periculoase prin reflexie regulată).

O altă verificare cantitativă, care reflectă însă și o condiție de calitate, este verificarea uniformității iluminării, prin calcularea factorilor de uniformitate minim-mediu (E_{min}/E_{med}) și minim-maxim (E_{min}/E_{max}).

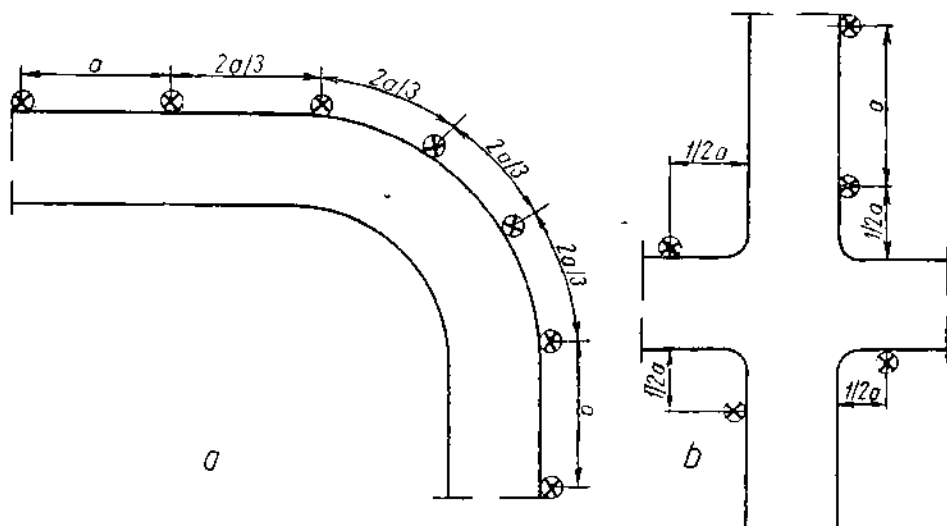


Fig. 2.74. a. Amplasarea corpurilor de iluminat în curbe. b. Amplasarea corpurilor de iluminat în intersecții

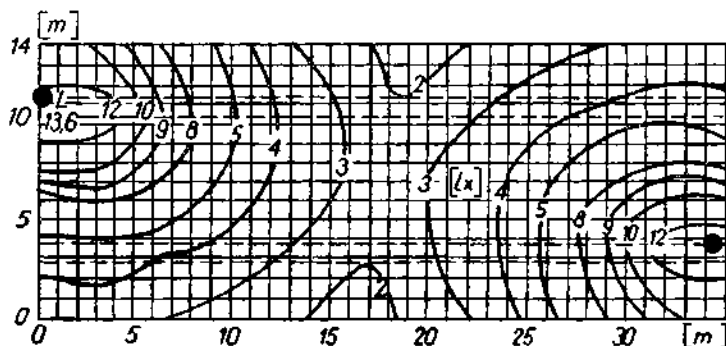


Fig. 2.75. Curbe isolux horizontale pentru o stradă echipată cu corpuri de iluminat amplasate în sistem cu dispunere alternată

Valoarea efectivă a acestor factori de uniformitate trebuie să fie sub valorile admisibile indicate în /55/.

Pentru urmărirea distribuției iluminării în planul căii de circulație este interesantă trasarea grafică a curbelor isolux rezultante. În figura 2.75 este dat un exemplu de curbe isolux pentru strada iluminată cu corpuri montate în dispunere alternată.

2.15. MĂSURĂRI ȘI APARATE DE MĂSURAT FOTOMETRICE

Pentru măsurarea mărimilor fotometrice se utilizează metode și aparate speciale. Caracteristicile tehnice ale surselor de lumină și ale instalațiilor de iluminat în general se determină uneori și se verifică întotdeauna pe bază de măsurări.

Metodele de măsurare fotometrice se împart în două clase: metode *obiective* și metode *subiective*. Metodele obiective utilizează drept element de măsurare un element sensibil față de energia luminoasă; metodele subiective înlocuiesc acest element sensibil prin ochi.

Ochiul omenesc sesizează direct luminanța obiectelor; el este incapabil să aprecieze valoarea absolută a acesteia, ci numai existența diferențelor de luminanță, respectiv egalitatea lor. De aceea, metodele subiective de măsurare utilizează aparate care oferă ochiului posibilitatea de a compara două luminanțe, una provenind de la o sursă de lumină etalon, alta — proporțională cu mărimea de măsurat. La egalitatea celor două luminanțe (apreciată de ochi), mărimea de măsurat se exprimă în funcție de luminanța sursei etalon.

Pentru a se putea realiza măsurări subiective corecte este necesară îndeplinirea următoarelor precauțiuni:

a) ochiul observatorului trebuie să fie adaptat la întuneric timp de cel puțin 15 minute;

b) suprafețele care se compară trebuie să aibă aceeași culoare (să fie isocrome). De asemenea, ele trebuie să fie alăturate și privite simultan;

c) imaginea suprafețelor de comparat trebuie să se formeze pe pata galbenă a retinei, iar raza vizuală să nu formeze un unghi mai mare de $4-6^\circ$ cu normala la suprafață;

d) luminanța suprafețelor nu trebuie să coboare sub 3—5 nt, pentru a se evita variația vizibilității relative.

În asemenea condiții, ochiul poate distinge diferențe de luminanță până la 1%.

2.15.1. MĂSURAREA INTENSITĂȚII LUMINOASE

Pentru măsurarea intensității luminoase se utilizează o metodă subiectivă, bazată pe fotometrul Brodhun-Lummer (fig. 2.76). Aparatul constă dintr-un ecran perfect difuzant E , din sticlă sau ghips, ale cărui fețe sînt iluminate de la sursa de măsurat S_m , respectiv de la sursa etalon S_e . O parte din razele de

lumină reflectată de placa E cad pe oglinzile R_1 și R_2 , care trimit mai departe lumina perpendicular pe câte o față a cubului Brodhun-Lummer, C . Acest cub este format din două prisme drepte cu baza triunghi dreptunghic isoscel, cu fețele corespunzătoare ipotenuzei lipite pe suprafața BC ; pana de aer ce desparte cele două prisme pe suprafața AB face ca toate razele de lumină incidente să se reflecte total, cît timp razele ce cad pe suprafața BC trec fără a-și modifica direcția. Observînd fața CE a cubului printr-un dispozitiv optic, se observă, în general, două cîmpuri de luminanțe diferite: cîmpul inferior, corespunzător razelor de lumină ce provin de la S_m și cîmpul superior, iluminat de S_e (fig. 2.77).

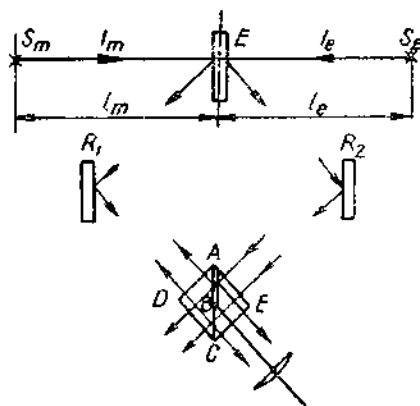
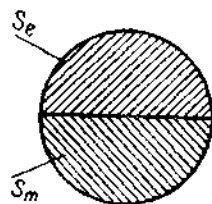


Fig. 2.76. Schema fotometrului Brodhun-Lummer

Fig. 2.77. Cîmpul vizual în fotometru



Dacă $I_m(I_e)$ este intensitatea luminoasă a sursei de măsurat (etalon), pe direcția S_mE (S_eE), iluminarea corespunzătoare a ecranului E , conform relației (2—40), este:

$$E_m = \frac{I_m}{l_m^2}, \quad E_e = \frac{I_e}{l_e^2}, \quad (2—157)$$

căci $\theta=0$. Luminanțele acestor suprafețe (v. rel. 2—63) sînt :

$$L_m = \frac{\rho I_m}{\pi l_m^2}, \quad L_e = \frac{\rho I_e}{\pi l_e^2}, \quad (2—158)$$

unde ρ este coeficientul de reflexie al suprafeței ecranului E . Notînd cu $\tau_m(\tau_e)$ coeficientul de transmisie prin cubul fotometric prin suprafața $BC(AB)$, luminanțele celor două cîmpuri observate sînt

$$L'_m = \tau_m \frac{\rho I_m}{\pi l_m^2}, \quad L'_e = \tau_e \frac{\rho I_e}{\pi l_e^2}. \quad (2—159)$$

Se vede că cele două luminanțe depind de distanțele de la surse la ecranul E . Modificând convenabil aceste distanțe se poate realiza egalitatea luminanțelor, sesizată de ochiul observatorului ; în această situație :

$$I_m = \frac{\tau_e}{\tau_m} \frac{l_m^2}{l_e^2} I_e, \quad (2-160)$$

unde I_e este intensitatea luminoasă cunoscută a sursei etalon, iar $\tau_e/\tau_m \approx 1$.

Cu ajutorul fotometrului se pot determina curbele fotometrice ale izvoarelor de lumină. În acest scop, se rotește sursa S_m și pentru diferite poziții ale sale se determină I_m . La alte aparate sursa S_m stă fixă și se rotește fotometrul. În fine, alte fotometre sînt prevăzute cu oglinzi mobile, care reflectă spre fotometru razele de lumină emise pe diferite direcții de către sursa de măsurat.

2.15.2. MĂSURAREA ILUMINĂRILOR

În mod curent, iluminarea se măsoară prin metode obiective, cu ajutorul aparatelor denumite luxmetre.

Luxmetrele obiective se construiesc pe baza efectului fotoelectric produs în celulele fotoelectrice. Schița unui asemenea fotoelement este dată în figura 2.78.

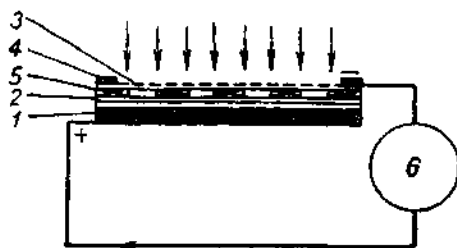


Fig. 2.78. Schema fotocelulei cu seleniu

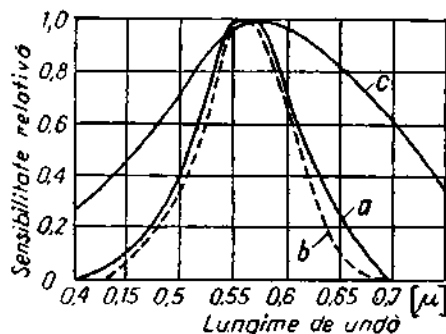


Fig. 2.79. Curbele de sensibilitate ale fotocelulei cu seleniu și ochiului omenesc

Pe o placă de fier 1 este depus un strat subțire de seleniu 2, acoperit de o foaie 3 foarte subțire (circa 5 mμ) de aur, transparentă. În fine, un inel din fier 4 formează împreună cu placa 1 electrozii, care se leagă la galvanometrul 6. Între stratul de seleniu și cel de aur se formează un strat de baraj 5, care permite trecerea electronilor numai în sensul $\text{Se} \rightarrow \text{Au}$; în sensul $\text{Au} \rightarrow \text{Se}$ ei nu pot trece. Razele de lumină care cad pe stratul de aur trec prin acesta și intră în stratul de seleniu, unde determină emisia unor electroni ce pot trece în stratul de aur.

Ca urmare, galvanometrul 6 va indica trecerea unui curent electric cu atât mai mare cu cât fluxul luminos care trece în stratul de seleniu prin deschiderea inelului 4 (deci iluminarea) este mai mare.

Sensibilitatea fotoelementului cu seleniu nu este aceeași pentru toate lungimile de undă ale radiațiilor incidente. Întocmai ca și la ochiul omenesc, două radiații de putere egală, dar de lungimi de undă diferite, conduc la trecerea prin galvanometru a unor curenți de intensitate diferită. În figura 2.79 sînt înfățișate comparativ curbele de sensibilitate a celulei (curba *a*) și a ochiului (curba *c*); se vede că cele două curbe diferă mult între ele, de aceea rezultatele măsurărilor efectuate cu acest luxmetru obiectiv dau rezultate afectate de eroare mare. Situația poate fi mult îmbunătățită dacă razele de lumină, înainte de a cădea pe suprafața sensibilă, trec printr-un filtru care corectează curba de sensibilitate a celulei; de exemplu, curba *b*, corespunzător celulei cu un filtru de gelatină, se suprapune practic peste curba sensibilității ochiului.

Fotoelementul de scris nu are nevoie de o sursă de energie exterioară, el se numește cu efect în stratul intermediar.

2.15.3. MĂSURAREA FLUXURILOR LUMINOASE

Fluxul luminos al unui izvor luminos se determină cu ajutorul lumenmetrului. Lumenmetrul este compus dintr-o sferă goală în interior, cu un diametru de 0,5...3 m, vopsită astfel încît suprafața ei interioară să fie perfect difuzantă, cu un coeficient de reflexie ρ cunoscut (fig. 2.80). În peretele sferei, în punctul *P*, se realizează o fereastră de suprafață ΔS , acoperită cu o sticlă lăptoasă, de coeficient de transmitere τ cunoscut. Sfera se execută din două jumătăți care se pot îmbina. Într-un punct oarecare *A* din sferă se instalează sursa al cărei flux luminos se măsoară; pe direcția *AP* se intercalează un mic ecran *E*, care nu permite iluminarea directă a ferestrei *P* de către sursa *A*.

Fie $d\Phi$ fluxul luminos care cade pe o suprafață infinit de mică ds așezată într-un punct oarecare *K* pe suprafața sferei, flux provenind de la sursa din *A*; fluxul luminos reflectat de suprafața ds este $\rho d\Phi$, iar intensitatea luminoasă normală, ținînd seama că suprafața interioară a sferei este perfect difuzantă, conform relației (2—61) este:

$$dI_m = \frac{\rho d\Phi}{\pi} \quad (2-161)$$

Intensitatea luminoasă pe direcția *KP* este:

$$dI_\alpha = dI_m \cos \alpha = \frac{\rho d\Phi}{\pi} \cos \alpha; \quad (2-162)$$

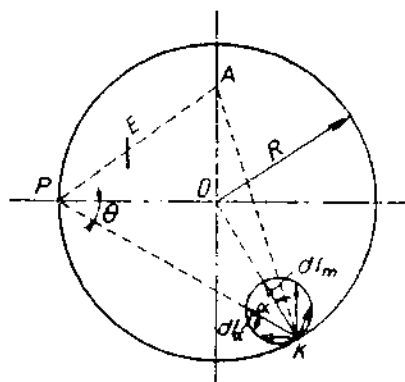


Fig. 2.80. Fotometrul sferic (lumenmetrul)

de aceea, iluminarea în punctul P determinată de fluxul reflectat de suprafața ds , conform relației (2—40) rezultă :

$$dE = \frac{dI_a \cos \theta}{K P^2} = \frac{\rho d\Phi \cos^2 \alpha}{\pi K P^2}, \quad (2-163)$$

unde s-a observat că triunghiul OPK este isoscel, deci $\theta = \alpha$. Pe de altă parte, dacă R este raza sferei, în același triunghi OPK se poate scrie $KP = 2 R \cos \alpha$, așa încît :

$$dE = \frac{\rho d\Phi \cos^2 \alpha}{4\pi R^2 \cos^2 \alpha} = \frac{\rho}{S} d\Phi, \quad (2-164)$$

unde $S = 4\pi R^2$ este suprafața sferei. Relația (2—164) scoate în evidență faptul foarte important că iluminarea elementară a ferestrei P nu depinde nici de poziția, acesteia, nici de cea a sursei de lumină și a elementului de suprafață ds pe fața interioară a sferei. De aceea, iluminarea produsă în punctul P de toate elementele ds de pe sferă este :

$$E_1 = \int \frac{\rho}{S} d\Phi = \frac{\rho}{S} \Phi, \quad (2-165)$$

Φ fiind fluxul luminos total al sursei.

E_1 este iluminarea produsă în P de fluxul luminos reflectat o singură dată. Dar suprafața sferei S se comportă ca un izvor care emite fluxul luminos $\rho\Phi$; ținând seama de independența iluminării punctului P de poziția izvorului, fereastra va obține o iluminare suplimentară E_2 datorită acestui flux, iluminarea ce se obține din relația (2—165) înlocuind pe Φ prin $\rho\Phi$, adică :

$$E_2 = \frac{\rho^2}{S} \Phi. \quad (2-166)$$

Iluminarea E_2 corespunde fluxului luminos reflectat a doua oară. Ținând seama de faptul că în sferă are loc un număr infinit de reflexii, iluminarea rezultantă a ferestrei P este :

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots = \frac{\rho}{S} \Phi (1 + \rho + \rho^2 + \dots) = \frac{\rho}{(1-\rho)S} \Phi, \quad (2-167)$$

unde s-a ținut seama că $\rho < 1$.

Fluxul luminos care cade pe suprafața ΔS a ferestrei este :

$$\Delta\Phi = E\Delta S = \frac{\rho\Delta S}{(1-\rho)S} \Phi; \quad (2-168)$$

fluxul luminos transmis de geam rezultă :

$$\Delta\Phi_t = \tau\Delta\Phi = \frac{\tau\rho\Delta S}{(1-\rho)S} \Phi. \quad (2-169)$$

Întrucît transmiterea este perfect difuză, intensitatea luminoasă normală pe suprafața ferestrei (v. rel. 2—61) este :

$$\Delta I = \frac{\Delta \Phi_e}{\pi} = \frac{\tau_p \Delta S}{(1-\rho) S} \Phi \quad (2-170)$$

sau

$$\Phi = K \Delta I, \quad (2-170')$$

unde K este constanta aparatului. Măsurînd pe ΔI , se poate determina Φ .

Fluxul luminos se poate determina măsurînd de asemenea emitanța sau luminanța ferestrei, exprimîndu-l asemănător în funcție de aceste mărimi.

2.15.4. MĂSURAREA LUMINANTELOR

Pentru măsurarea luminanțelor se pot folosi luxmetre sau fotometre adaptate corespunzător. Într-adevăr, pentru a măsura luminanța unui punct al unei suprafețe S , în fața acestuia se așază un ecran Q prevăzut cu o deschidere de suprafață ΔS și se măsoară iluminarea E sau intensitatea luminoasă I într-un punct M , aflat la distanță suficient de mare l pe normala la ecran (fig. 2.81).

Ținînd seama de relațiile (2—51) și (2—40), cu observația că $\alpha = \theta = 0$, luminanța pe direcția e se poate exprima cu formula :

$$L_e = \frac{I}{\Delta S} \quad \text{sau} \quad L_e = \frac{E \rho}{\Delta S}. \quad (2-171)$$

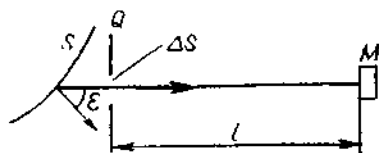


Fig. 2.81. Măsurarea luminanței



APARATE ELECTRICE ȘI ELEMENTE DE CIRCUIT

3.1. ÎNCĂLZIREA ELEMENTELOR PARCURSE DE CURENT

Conductoarele electrice, mașinile și aparatele electrice parcurse de curent se încălzesc, datorită pierderilor care au loc în elementele active ale acestora. Studiul încălzirii acestora este deosebit de important, pentru că depășirea unei temperaturi admisibile conduce la scoaterea rapidă din funcțiune a lor. Pe baza calculelor de încălzire se obțin relații de dimensionare a elementelor sau instalațiilor electrice.

Problema determinării temperaturii atinse într-un punct al unui element de circuit la un anumit moment este destul de complicată, pe de o parte, pentru că în general acestea sînt corpuri neomogene, constituite din materiale cu proprietăți termice diferite și avînd în general o formă oarecare; pe de altă parte, evident, repartizarea temperaturii în corp la un moment dat depinde de modul în care variază în timp pierderile de putere care au loc. De aceea, în cazul general, ținînd seama și de faptul că supratemperatura (diferența între temperatura corpului și temperatura mediului ambiant) care se atinge pe suprafața elementelor parcurse de curent nu este prea mare, calculele la încălzire se fac în următoarele ipoteze simplificatoare:

- elementele parcurse de curent sînt corpuri omogene;
- conductivitatea termică a materialului este infinită (adică temperatura este aceeași în toate punctele corpului);
- suprafața corpului disipează căldura în mod uniform, prin convecție.

În ceea ce privește regimul de variație a pierderilor în timp, de cele mai multe ori acesta se încadrează în una din următoarele categorii idealizate: regim de lungă durată, regim intermitent și regim de scurtă durată. Mai jos se studiază încălzirea atinsă de elementele de circuit în aceste regimuri. Unele cazuri care nu se încadrează în aceste regimuri sînt studiate mai departe (subcap. 3.8).

3.1.1. ÎNCĂLZIREA ÎN REGIM DE LUNGĂ DURATĂ

Regimul de lungă durată este regimul caracterizat prin faptul că pierderile de putere (debitul de căldură) sînt constante în timp.

Dacă $p[W]$ este căldura dezvoltată în corpul omogen în unitatea de timp, bilanțul termic pentru un timp infinit de mic dt este descris de ecuația :

$$p dt = c M d\theta + \alpha S \theta dt, \quad (3-1)$$

unde :

-- $c \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$ este căldura specifică a corpului ;

-- $\alpha \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$ coeficientul de convecție pe suprafața corpului, $S[m^2]$;

-- $M [kg]$ masa corpului, iar θ — supratemperatura.

Ecuația (3-1) stabilește egalitatea între cantitatea de căldură dezvoltată în timpul dt și suma dintre căldura înmagazinată în corp și cea evacuată prin suprafața lui în același interval de timp.

Integrarea ecuației (3-1) se poate realiza prin metoda separării variabilelor ; în acest scop ea se scrie :

$$\frac{d\theta}{\frac{p}{\alpha S} - \theta} = \frac{dt}{\frac{cM}{\alpha S}}$$

sau :

$$\frac{d\theta}{\theta_f - \theta} = \frac{dt}{T}, \quad (3-2)$$

unde s-au introdus notațiile :

$$\theta_f = \frac{p}{\alpha S}, \quad T = \frac{cM}{\alpha S}. \quad (3-3)$$

Integrând ecuația (3-2), se obține :

$$\ln(\theta_f - \theta) = -\frac{t}{T} + \ln C, \quad (3-4)$$

unde C este o constantă de integrare, care se determină punând condiția ca la momentul $t=0$ (începutul procesului de încălzire) supratemperatura să aibă o anumită valoare inițială θ_i . Rezultă :

$$C = \theta_f - \theta_i \quad (3-5)$$

și înlocuind în relația (3-4), după transformări simple se obține ecuația încălzirii corpului omogen sub forma :

$$\theta = \theta_f \left(1 - \exp \left[-\frac{t}{T} \right] \right) + \theta_i \exp \left[-\frac{t}{T} \right]. \quad (3-6)$$

Pentru cazul particular cînd supratemperatura inițială este nulă ($\theta_i=0$), se obține ecuația încălzirii corpului omogen a cărui temperatură inițială este egală cu cea a mediului ambiant :

$$\theta = \theta_f \left(1 - \exp \left[-\frac{t}{T} \right] \right). \quad (3-7)$$

Dacă în momentul inițial supratemperatura nu este nulă, însă puterea dezvoltată p este nulă, se obține ecuația răcirii corpului omogen a cărui supratemperatură inițială este θ_i :

$$\theta = \theta_i \exp \left[-\frac{t}{T} \right]. \quad (3-8)$$

Se vede că, în cazul general, supratemperatura apare ca o rezultantă a unui proces de încălzire și a unui de răcire.

Considerînd cazul încălzirii de la temperatura mediului ambiant ($\theta_i = 0$), relația (3-7) poate fi reprezentată sub forma unei curbe exponențiale (fig. 3.1, curba 1). Se observă că, pentru un timp infinit de lung, supratemperatura θ devine egală cu θ_f . Prin urmare, θ_f este supratemperatura care se stabilește în corp după trecerea unui timp destul de mare de la începerea încălzirii (supratemperatura de regim).

La funcționarea cu pierderi p_1 , respectiv p_2 , conform relației (3-3) supratemperaturile de regim atinse se găsesc în raportul:

$$\frac{\theta_{f1}}{\theta_{f2}} = \frac{p_1}{p_2}; \quad (3-9)$$

dacă încălzirea este produsă prin efect Joule Lenz, relația (3-9) se scrie:

$$\frac{\theta_{f1}}{\theta_{f2}} = \frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{\tau_{f1} - \tau_{m1}}{\tau_{f2} - \tau_{m2}}, \quad (3-10)$$

unde τ_{f1} și τ_{f2} sînt temperaturile finale, τ_{m1} , τ_{m2} — temperaturile mediului ambiant în cele două cazuri.

Relația (3-10) permite calculul curentului de durată admisibil prin element în ipoteza modificării temperaturii ambiante. Astfel, dacă $\tau_{f1} = \tau_{f2} = \tau_{adm}$ — temperatura de funcționare admisibilă, iar intensitatea curentului de durată admisibil este $I_2 = I_{adm}$, pentru temperatura mediului ambiant τ_{m2} , la temperatura mediului ambiant τ_{m1} curentul admisibil este:

$$I_1 = I_{adm} \sqrt{\frac{\tau_{adm} - \tau_{m1}}{\tau_{adm} - \tau_{m2}}}. \quad (3-11)$$

De exemplu pentru un cablu ACHP $3 \times 70 + 1 \times 35$, a cărui temperatură de funcționare admisibilă este de 85°C , la temperatura mediului ambiant (pămînt) de 20°C , curentul maxim admisibil este de 195 A ; intensitatea admisibilă pentru $\tau_{m1} = 25^\circ\text{C}$ este:

$$I_1 = 195 \sqrt{\frac{85 - 25}{85 - 20}} = 187 \text{ A.}$$

Pentru orientare se dau următoarele valori ale temperaturilor admisibile: conductoare neizolate și bare, 70°C ; conductoare și cabluri izolate în cauciuc,

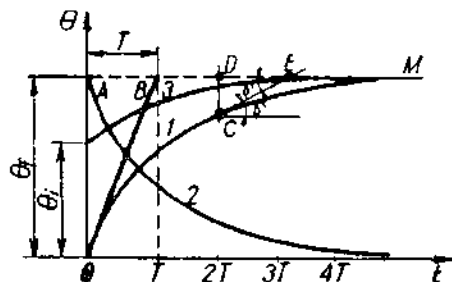


Fig. 3.1. Curbele de încălzire și răcire a corpului omogen în regim de lungă durată

60°C; cabluri izolate cu hîrtie și conductoare și cabluri cu izolație din PVC, 65°C.

Pentru a stabili și semnificația fizică a mărimii T , denumită constanta de timp a încălzirii, se consideră același corp omogen, în ipoteza că suprafața sa nu cedează căldură. În acest caz, $\alpha=0$ și relația (3—1) devine :

$$\rho \, dt = c \, M \, d\theta, \quad (3-12)$$

care integrată direct și cu condiția $\theta_i = 0$, devine :

$$\theta = \frac{\rho}{cM} t. \quad (3-13)$$

În acest caz ecuația încălzirii este liniară, reprezentată în figura 3.1 prin dreapta OB . Din relația (3—12) se obține timpul în care, în acest caz, temperatura atinge valoarea θ_f :

$$AB = \frac{cM}{\rho} \theta_f = \frac{cM}{\rho} \frac{\rho}{\alpha S} = T. \quad (3-14)$$

Rezultă că T este timpul în care corpul omogen ar atinge supratemperatura de regim, dacă acesta nu ar schimba căldura cu mediul exterior.

Din punct de vedere geometric, T este subtangenta la curba exponențială, constantă în toate punctele acesteia. Într-adevăr, subtangenta DE într-un punct oarecare C al curbei I este :

$$DE = \frac{CD}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{CD}{\frac{d\theta}{dt}} = \frac{\theta_f - \theta}{\frac{\theta_f}{T} \exp\left[-\frac{t}{T}\right]} = \frac{\theta_f - \theta}{\frac{\theta_f}{T} \frac{\theta_f - \theta}{\theta_f}} = T. \quad (3-15)$$

De aici rezultă că dreapta OB este tangentă în origine curbei de încălzire, ceea ce se poate verifica și direct.

Valori numerice pentru trasarea curbei de încălzire (3—7) sînt date în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

t/T	1	2	3	4
θ/θ_f	0,362	0,865	0,950	0,982

Se observă că, pentru valori $t=(4 \dots 5) T$, temperatura corpului încălzit atinge practic valoarea finală. Constanta de timp a corpurilor care vin în considerație în cazul instalațiilor electrice variază între cîteva minute (la conductoare) și cîteva ore (la mașini electrice mari).

Alura curbei de răcire (3—8) a corpului omogen este prezentată în figura 3.1 (curba 2). Suprapunînd curba de încălzire peste o curbă de răcire, se obține variația supratemperaturii în cazul general (fig. 3.1, curba 3).

3.1.2. ÎNCĂLZIREA ÎN REGIM INTERMITENT

Prin regim intermitent se înțelege regimul caracterizat prin aceea că perioade de încălzire cu putere constantă, de durate egale între ele, alternează cu perioade de răcire, de durate de asemenea egale între ele (fig. 3.2). Durata de răcire nu sînt suficient de lungi pentru ca temperatura elementului studiat să atingă din nou temperatura mediului ambiant.

Notînd cu t_i — durata încălzirii, cu t_r — durata răcirii și cu $t_c = t_i + t_r$ — durata unui ciclu ((fig. 3.2), curba supratemperaturii corpului va conține porțiuni ascendente care alternează cu porțiuni descendente (fig. 3.3). Se notează:

$$DC = \frac{t_i}{t_c}, \quad \beta = \frac{t_i}{T}, \quad (3-16)$$

T fiind constanta de timp a încălzirii corpului, iar DC — durata relativă de conectare.

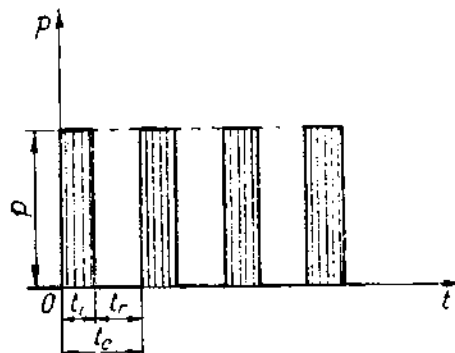


Fig. 3.2. Variația în timp a puterii în regim intermitent

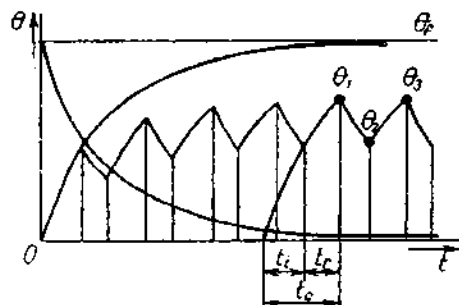


Fig. 3.3. Curba încălzirii în regim intermitent

Dacă corpul s-ar încălzi în regim de lungă durată cu puterea p , supraîncălzirea de regim atinsă ar fi θ_f , determinată conform relației (3—3). Din cauză că în realitate încălzirea este întreruptă periodic, supraîncălzirea maximă atinsă va fi inferioară valorii θ_f . În cele ce urmează se va calcula valoarea maximă a supraîncălzirii stabilite în regim intermitent.

Fie θ_1 supraîncălzirea corpului la sfîrșitul unei perioade de încălzire oarecare. După trecerea a t_r secunde din acest moment, corpul va avea supraîncălzirea dată de relația (3—8) :

$$\theta_2 = \theta_1 \exp \left[-\frac{t_r}{T} \right]. \quad (3-17)$$

În acest moment începe o nouă perioadă de încălzire, de durată t_i , la sfîrșitul căreia supraîncălzirea corpului devine :

$$\theta_3 = \theta_f \left(1 - \exp \left[-\frac{t_i}{T} \right] \right) + \theta_2 \exp \left[-\frac{t_i}{T} \right]. \quad (3-18)$$

După un număr suficient de mare de cicluri, supratemperaturile θ_1 și θ_3 sînt egale între ele și anume egale cu θ_{fi} , supratemperatura maximă în regim intermitent. Înlocuind deci :

$$\theta_{fi} = \theta_1 = \theta_3 \quad (3-19)$$

în relațiile (3-17) și (3-18) și eliminînd pe θ_2 se obține :

$$1/a = \frac{\theta_{fi}}{\theta_f} = \frac{1 - \exp \left[-\frac{t_i}{T} \right]}{1 - \exp \left[-\frac{t_c}{T} \right]} = \frac{1 - \exp [-\beta]}{1 - \exp [-\beta/DC]} \quad (3-20)$$

La încălzirea în regim de lungă durată, pentru ca supratemperatura admisibilă θ_{adm} să nu fie întrecută, puterea poate avea valoarea maximă (v. rel. 3-3) :

$$p_d = \alpha S \theta_{adm} \quad (3-21)$$

În regim intermitent, supratemperatura maximă θ_{fi} a aceluiași element de circuit va fi egală cu valoarea admisibilă θ_{adm} pentru o putere p_i ; din relația (3-20) se vede că :

$$\theta_{fi} = \frac{1}{a} \theta_f = \frac{1}{a} \frac{p_i}{\alpha S} = \theta_{adm} \quad (3-22)$$

Egalînd cele două valori ale supratemperaturii θ_{adm} , se obține,

$$\frac{p_i}{p_d} = a \quad (3-23)$$

Coeficientul a , care reprezintă raportul între puterea cu care poate fi încărcat elementul dat în regim intermitent și puterea cu care el poate fi încărcat în regim de lungă durată, fără ca în ambele cazuri temperatura să întrecă valoarea admisibilă, se numește *capacitate de supraincălzire*. Dacă, de exemplu, $t_i = 30$ min, $t_r = 70$ min, iar $T = 150$ min, rezultă că $a = 2,7$ — adică în regim intermitent elementul dat poate fi încărcat cu o putere de 2,7 ori mai mare decît în regim de lungă durată.

Dacă $T \gg t_i$, $\beta \rightarrow 0$ și deci :

$$a = \frac{1 - (1 - \beta/DC + \dots)}{1 - (1 - \beta + \dots)} = \frac{1}{DC} \quad (3-24)$$

Relația (3-24) poate fi aplicată conductoarelor din cupru cu secțiune de peste 10 mm^2 și din aluminiu cu secțiune de peste 16 mm^2 , dacă $t_i \leq 4 \text{ min}$ și $t_c \geq 10 \text{ min}$.

3.1.3. ÎNCĂLZIREA ÎN REGIM DE SCURTĂ DURATĂ

Regimul de scurtă durată se caracterizează prin faptul că unei perioade de încălzire cu putere constantă a corpului îi urmează o perioadă suficient de lungă

de răcire, pentru ca acesta să obțină practic temperatura mediului ambiant. Regimul de scurtă durată aproximează regimul real care are loc la scurtcircuit.

Datorită duratei reduse a încălzirii, se poate neglija căldura evacuată, adică se poate considera că întreaga căldură dezvoltată se înmagazinează în piesă (conductor). Prin urmare, în relația (3—1) se va considera $\alpha \cong 0$.

Pe de altă parte, ca urmare a solicitării termice de scurtă durată a pieselor, temperaturile admisibile la scurtcircuite sînt mult mai mari decît în alte regimuri de încălzire. Înseamnă că, pentru a fi mai aproape de fenomen, la încălzirea de scurtă durată trebuie să se țină seama de modificarea proprietăților materialului cu temperatura. Ca urmare, rezistivitatea electrică și căldura specifică se vor scrie :

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \rho_0 (1 + \alpha_\rho \theta) \\ c &= c_0 (1 + \alpha_c \theta) \end{aligned} \right\}, \quad (3-25)$$

ρ_0 și c_0 fiind rezistivitatea și căldura specifică la temperatura mediului ambiant, iar α_ρ și α_c — coeficienții de variație cu temperatura ai lui ρ și c .

În fine, notînd cu i_{sd} — intensitatea curentului în regim de scurtă durată, cu R — rezistența electrică a conductorului și cu l și s — lungimea și secțiunea acestuia, puterea în regim de scurtă durată, p_{sd} se exprimă sub forma :

$$p_{sd} = R i_{sd}^2 = \rho i_{sd}^2 \frac{l}{s}, \quad (3-26)$$

iar masa conductorului :

$$M = \gamma s l, \quad (3-27)$$

unde γ este masa specifică.

Înlocuind relațiile (3—26) și (3—27) în (3—1), punînd $\alpha=0$ și ținînd seama de (3—25), se obține :

$$i_{sd}^2 dt = \frac{c_0 \gamma}{\rho_0} \frac{1 + \alpha_c \theta}{1 + \alpha_\rho \theta} d\theta, \quad (3-28)$$

unde :

$$i_{sd} = \frac{i_{sd}}{s} \quad (3-29)$$

este densitatea de curent.

După integrare, în limitele 0— t , respectiv θ_i — θ , se obține

$$A - A_i = \int_0^t i_{sd}^2 dt, \quad (3-30)$$

unde :

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{c_0 \gamma}{\rho_0} \left[\frac{\alpha_\rho - \alpha_c}{\alpha_\rho^2} \ln (1 + \alpha_\rho \theta) + \frac{\alpha_c}{\alpha_\rho} \theta \right] \\ A_i &= \frac{c_0 \gamma}{\rho_0} \left[\frac{\alpha_\rho - \alpha_c}{\alpha_\rho^2} \ln (1 + \alpha_\rho \theta_i) + \frac{\alpha_c}{\alpha_\rho} \theta_i \right] \end{aligned} \right\}, \quad (3-31)$$

În figura 3.4 este reprezentată curba $A=f(\theta)$ pentru valori medii ale lui ρ_0 , c_0 , γ , α_0 și α_c în cazul cuprului, aluminiului și oțelului. Curbele se utilizează în modul următor.

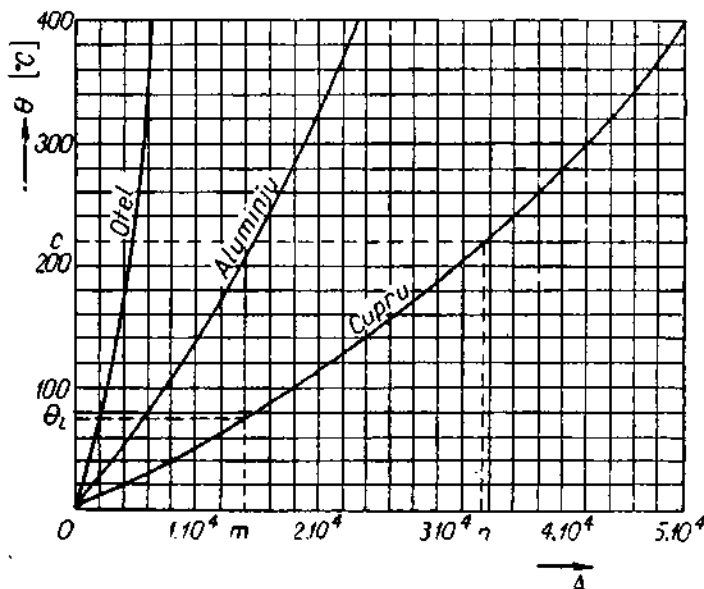


Fig. 3.4. Curbele $A=f(\theta)$ pentru materiale uzuale

Pentru materialul dat, cunoscând pe θ_l se determină $\bar{A}_l$ corespunzător (segmentul Om); se adaugă segmentul $mn = \int_0^t j_{sd}^2 dt$, obținându-se $A = On$ și apoi, cu ajutorul aceleiași curbe, se determină θ (segmentul Oc).

Integrala (3—30) se poate calcula dacă se cunoaște modul de variație în timp a densității de curent j_{sd} . Dacă j_{sd} este constant, evident $\int_0^t j_{sd}^2 dt = j_{sd}^2 t$.

Dacă însă curentul de încălzire este variabil în timp, se obișnuiește să se calculeze integrala (3—30) introducând timpul fictiv t_f , determinat prin relația

$$t_f = \frac{s^2}{I_\infty^2} \int_0^t j_{sd}^2 dt. \quad (3-32)$$

În relația (3—32), I_∞ este un curent de referință oarecare; în cazul scurtcircuitelor, I_∞ este valoarea efectivă a curentului periodic de scurtcircuit de durată. Se vede că timpul fictiv este timpul în care curentul constant I_∞ , circulând prin conductor, conduce la degajarea aceleiași cantități de căldură ca și curentul real j_{sd} .

În general, curentul de scurtcircuit în rețelele electrice de joasă tensiune, aflate la distanțe relativ mari de centralele electrice, conform subcapitolului 4.3, are expresia :

$$i_{sc} = -I_{\infty} \sqrt{2} \cos(\omega t + \alpha_k) + I_a \exp\left[-\frac{t}{T_a}\right]; \quad (3-33)$$

α_k determină momentul în care are loc scurtcircuitul față de momentul în care tensiunea trece prin zero, iar T_a este constanta de timp a circuitului electric.

$$I_{a\infty} = I \sqrt{2} \cos \alpha_k \quad (3-34)$$

este valoarea maximă a componentei aperiodice.

Înlocuind relația (3-33) în (3-32) și ținând seama de (3-34), se obține :

$$\begin{aligned} t_f = 2 \int_0^t \cos^2(\omega t + \alpha_k) dt - 4 \int_0^t \cos(\omega t + \alpha_k) \exp\left[-\frac{t}{T_a}\right] dt + \\ + 2 \cos^2 \alpha_k \int_0^t \exp\left[-\frac{t}{0,5 T_a}\right] dt. \end{aligned} \quad (3-35)$$

Prima integrală din membrul drept are forma :

$$\int_0^t \cos^2 \omega t dt = \frac{1}{2} t + \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t = \frac{1}{2} t \left(1 + \frac{\sin 2\omega t}{2\omega t}\right) \cong \frac{1}{2} t,$$

căci $\sin 2\omega t / 2\omega t$ scade foarte repede cu creșterea lui t (fig. 3.5).

A doua integrală :

$$\int_0^t \cos \omega t \exp\left[-\frac{t}{T_a}\right] dt \cong 0,$$

dacă se neglijează amortizarea componentei aperiodice pe durata unei perioade. În fine :

$$\int_0^t \exp\left[-\frac{t}{0,5 T_a}\right] dt = 0,5 T_a \left(1 - \exp\left[-\frac{t}{0,5 T_a}\right]\right) \cong 0,5 T_a,$$

pentru că în general $T_a < 0,05$ s, iar valorile lui t care se iau în considerare sînt mai mari decît 0,1 s. Chiar pentru

aceste valori : $\exp\left[-\frac{0,1}{0,5 \cdot 0,05}\right] = \exp[-4] \cong 0,0184$.

Rezultă :

$$t_f = t + T_a \cos^2 \alpha_k. \quad (3-36)$$

Se vede că, în general, $t_f > t$; în instalațiile de joasă tensiune se poate aprecia însă $t_f \cong t$, pentru că valorile

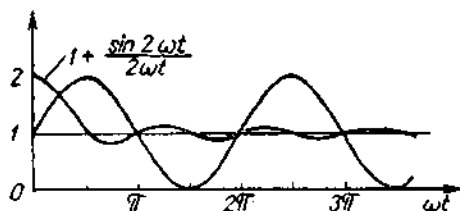


Fig. 3.5. Curba $1 + \sin 2\omega t / 2\omega t = f(\omega t)$

lui t care intervin sînt mult mai mari decît T_a . Acest lucru revine la a nu ține seama de contribuția componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit la creșterea temperaturii.

Cele arătate mai sus permit verificarea *stabilității termice* a aparatelor electrice, adică a capacității acestora de a suporta, fără a se defecta, acțiunea termică a curenților de scurtcircuit o anumită durată.

După cum se vede din relația (3—30), pornind de la aceeași supratemperatură inițială θ_i se ajunge la aceeași supratemperatură finală θ , dacă $\int_0^t i_{sc}^2 dt$ este aceeași.

Pentru fiecare tip de aparat, întreprinderile producătoare dau valoarea *curentului de stabilitate termică* pentru t secunde, I_t (în general $t=10; 5$ sau 1 secunde).

Pentru a se verifica capacitatea unui aparat de a rezista scurtcircuitului un timp de t_{sc} secunde sub curentul real I_{sc} , se calculează *curentul de stabilitate termică* la timpul t_{sc} , $I_{t_{sc}}$ din egalitatea :

$$I_t^2 t = I_{t_{sc}}^2 t_{sc},$$

adică :

$$I_{t_{sc}} = I_t \sqrt{\frac{t}{t_{sc}}}. \quad (3-37)$$

Dacă $I_{sc} < I_{t_{sc}}$, aparatul respectiv nu-și pierde stabilitatea termică în condițiile de scurtcircuit date.

3.2. FORȚE ELECTRODINAMICE

Forțele electrodinamice sînt acele forțe care acționează asupra unui conductor parcurs de un curent situat în câmpul magnetic al unui conductor parcurs de alt curent.

Calculul forțelor electrodinamice prezintă importanță deosebită pentru dimensionarea unor elemente de circuit din punct de vedere mecanic. Pentru determinarea forțelor electrodinamice care acționează în diferite cazuri se aplică, fie metoda variației de energie, fie metoda însumării forțelor elementare.

În cazul metodei variației de energie pentru determinarea forței electromagnetice, se consideră că lucrul mecanic elementar al acestei forțe este egal cu variația energiei electromagnetice, adică :

$$F dx = dA, \quad (3-38)$$

de unde rezultă

$$F = \frac{dA}{dx}, \quad (3-38')$$

F fiind forța care acționează pe direcția elementului de lungime dx , iar A — energia electromagnetică înmagazinată în câmp, a cărei expresie se consideră cunoscută.

În cazul metodei însumării forțelor elementare, forța care acționează asupra conductorului parcurs de curentul de intensitate i_2 este dată de expresia :

$$d\vec{F}_{12} = i_2 (\vec{dl}_2 \times \vec{B}_{12}); \quad \vec{F}_{12} = \oint_{l_2} d\vec{F}_{12}, \quad (3-39)$$

$\vec{B}_{12}$ fiind inducția determinată de conductorul parcurs de curentul i_1 în punctul în care se găsește elementul $\vec{dl}_2$ al conductorului de contur l_2 , $\vec{dl}_2$ avînd sensul intensității curentului i_2 .

Valorile astfel determinate reprezintă forța asupra conductoarelor străbătute de curent continuu în regim permanent sau valoarea momentană a acesteia, în cazul curentului alternativ. În curent alternativ interesează valoarea maximă a forței în cazul unui curent sinusoidal sau al unui curent sinusoidal cu componentă aperiodică, situație ce apare la scurtcircuitale stabilite în momentele în care valoarea momentană a curentului diferă de zero. De asemenea, interesează sub aspect mecanic și frecvența componentei alternative a forței.

3.2.1. BARE PARALELE STRĂBĂTUTE DE CURENT CONTINUU

Barele se consideră de lungime mult mai mare decît distanța dintre ele, putîndu-se, în acest fel, considera cîmpul plan paralel (fig. 3.6). Dacă $\rho \ll a$, inducția B_{12} produsă de curentul i_1 în dreptul barei 2 va fi :

$$B_{12} = \mu_0 \frac{i_1}{2\pi a}, \quad (3-40)$$

de unde rezultă forța pe unitatea de lungime a barei sub forma

$$F_{12} = \mu_0 \frac{i_1 i_2}{2\pi a}. \quad (3-41)$$

Dacă curenții au sensurile din figura 3.6, forța tinde să apropie cele două conductoare unul de celălalt.

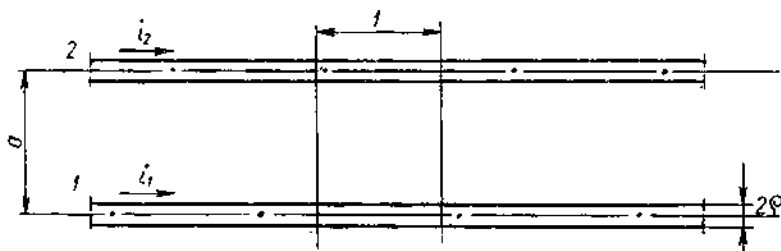


Fig. 3.6. Bare paralele străbătute de curent

3.2.2. CONDUCTOARE PARALELE STRĂBĂTUTE DE CURENT ALTERNATIV MONOFAZAT

Fie cei doi curenți de aceeași frecvență f , dar defazați între ei, adică :

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= i_{1m} \sin (\omega t - \varphi_1) \\ i_2 &= i_{2m} \sin (\omega t - \varphi_2) \end{aligned} \right\}, \quad (3-42)$$

unde $\omega = 2\pi f$. Curenții i_1 și i_2 străbat conductoarele din figura 3.6, astfel încît, înlocuind relația (3-42) în (3-41), se obține valoarea momentană a forței sub forma :

$$\begin{aligned} F &= \mu_0 \frac{i_{1m} i_{2m}}{2 \pi a} \sin (\omega t - \varphi_1) \sin (\omega t - \varphi_2) = \\ &= \mu_0 \frac{i_{1m} i_{2m}}{4 \pi a} [\cos (\varphi_2 - \varphi_1) - \cos (2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2)]. \end{aligned} \quad (3-43)$$

Forța are o componentă constantă :

$$F_c = \mu_0 \frac{i_{1m} i_{2m}}{4 \pi a} \cos (\varphi_2 - \varphi_1), \quad (3-44)$$

și o componentă alternativă de frecvență dublă decît cea a curenților

$$F_a = \mu_0 \frac{i_{1m} i_{2m}}{4 \pi a} \cos (2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2). \quad (3-45)$$

Valoarea maximă a forței are loc atunci cînd $\cos (2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2) = -1$:

$$F_{max} = \mu_0 \frac{i_{1m} i_{2m}}{4 \pi a} [\cos (\varphi_2 - \varphi_1) + 1]. \quad (3-46)$$

Se vede că valoarea cea mai mare a forței maxime se obține cînd curenții i_1 și i_2 sînt în fază ($\varphi_1 = \varphi_2$) :

$$F_{max_m} = \mu_0 \frac{i_{1m} i_{2m}}{2 \pi a}. \quad (3-46')$$

3.2.3. CONDUCTOARE IN PLAN STRĂBĂTUTE DE CURENT ALTERNATIV TRIFAZAT

Fie cele trei conductoare dispuse ca în figura 3.7; ele sînt străbătute, respectiv, de curenții :

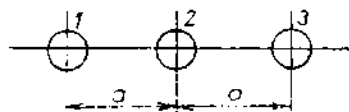


Fig. 3.7. Conductoare paralele așezate într-un plan

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= i_m \sin \omega t \\ i_2 &= i_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_3 &= i_m \sin \left(\omega t - 2 \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (3-47)$$

Asupra conductorului extrem 1 (sau 3) acționează suma forțelor datorate acțiunii conductorului din mijloc 2 și a conductorului 3 (sau 1):

$$F_1 = F_{21} + F_{31} = \mu_0 \frac{i_m^2}{4\pi a} \left[\cos \frac{2\pi}{3} - \cos \left(2\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right] + \mu_0 \frac{i_m^2}{4\pi 2a} \left[\cos \left(2\frac{2\pi}{3} \right) - \right. \\ \left. - \cos \left(2\omega t - 2\frac{2\pi}{3} \right) \right] = \mu_0 \frac{i_m^2}{2\pi a} \left[-\frac{3}{8} (1 - \cos 2\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{8} \sin 2\omega t \right]. \quad (3-48)$$

Valorile extreme ale lui F_1 se obțin anulînd derivata sa în raport cu timpul. Se obține: pentru $\omega t = 5\pi/12$ valoarea parantezei egală cu $-0,808$; pentru $\omega t = 11\pi/12$ — egală cu $-0,058$.

Se poate trage concluzia că forța F_{1max} (F_{3max}) are valoarea de 81% din cea care corespunde conductoarelor monofazate.

Pentru conductorul din mijloc:

$$F_2 = -F_{12} + F_{32} = \mu_0 \frac{i_m^2}{4\pi a} \left\{ - \left[\cos \frac{2\pi}{3} - \cos \left(2\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right] + \left[\cos \frac{2\pi}{3} - \right. \right. \\ \left. \left. - \cos \left(2\omega t - 3\frac{2\pi}{3} \right) \right] \right\} = \mu_0 \frac{i_m^2}{2\pi a} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \left(2\omega t - \frac{\pi}{3} \right) \right]. \quad (3-49)$$

Valoarea maximă a parantezei este $\sqrt{3}/2 = 0,866$. Prin urmare, conductorul central, fiind solicitat de o forță egală cu 86,6% din cea care corespunde conductoarelor monofazate, este cel mai solicitat dintre cele trei conductoare ale sistemului.

3.2.4. CONDUCTOARE SITUATE ÎN VIRFURILE UNUI TRIUNGHIE ECHILATERAL

Din motive de simetrie, este suficient calculul forței care acționează asupra unui singur conductor (conductorul 1, fig. 3.8). Pentru simplificare, se calculează întîi componentele forței după axele Ox și Oy . Rezultă:

$$\left. \begin{aligned} F_{1x} &= -F_{21} \cos \frac{\pi}{6} - F_{31} \cos \frac{\pi}{6} = \mu_0 \frac{i_m^2}{2\pi a} \frac{\sqrt{3}}{4} (1 - \cos 2\omega t) \\ F_{1y} &= -F_{21} \sin \frac{\pi}{6} + F_{31} \sin \frac{\pi}{6} = \mu_0 \frac{i_m^2}{2\pi a} \frac{\sqrt{3}}{4} \sin 2\omega t \end{aligned} \right\}. \quad (3-50)$$

Forța rezultantă este:

$$F_1 = \sqrt{F_{1x}^2 + F_{1y}^2} = \mu_0 \frac{i_m^2}{2\pi a} \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t. \quad (3-51)$$

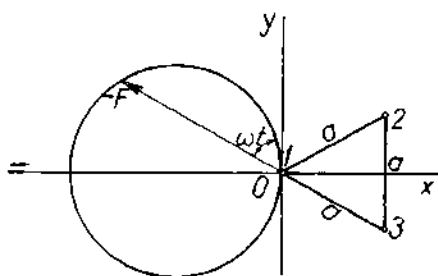


Fig. 3.8. Conductoare așezate în vîrfurile unui triunghi echilateral

Rezultă că locul geometric al forței F_1 (fig. 3.8) este un cerc cu diametrul

$$\mu_0 \frac{i_m^2}{2\pi a} \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Forța maximă care acționează asupra conductorului așezat în vîrfurile triunghiului este egală cu diametrul cercului și egală cu forța ce se exercită asupra conductorului din mijloc la așezarea în plan. Înlocuind în relațiile (3—49) și (3—51), scrise pentru valoarea maximă a forței, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m, se obține:

$$F_{max} = 1,73 \cdot 10^{-7} \frac{i_m^2}{a} \quad (\text{N/m}). \quad (3-52)$$

3.2.5. FORȚE ELECTRODINAMICE LA SCURTCIRCUITE

În cazul scurtcircuitelor în rețelele electrice, valoarea momentană a intensității curentului variază, într-un mod relativ complicat, în perioada care urmează imediat momentului producerii acestora. Această variație se datorește fenomenelor care au loc la scurtcircuitul brusc în generatorul sincron care alimentează rețeaua și în însăși rețeaua electrică; pe măsură ce locul scurtcircuitului este mai îndepărtat de centrală, curenții de scurtcircuit sînt tot mai mici, pentru generatorul sincron valorile acestor curenți încadrîndu-se în limitele curenților de sarcină normală. De aceea, de exemplu în instalațiile de joasă tensiune care sînt îndepărtate de centrală (adică impedanța rețelei dintre centrală și instalația de joasă tensiune este mare), se poate considera că modul de desfășurare a fenomenelor la scurtcircuit este determinat numai de parametrii constanți ai rețelei, nefiind influențați de parametrii variabili la scurtcircuit.

Considerînd cazul unui circuit monofazat ca în figura 3.6, alimentat la tensiune constantă, curenții la scurtcircuit au expresia (3—33). Dacă, în mod acoperitor, T_a se consideră foarte mare, iar $\alpha_k = 0$ (cazul cel mai defavorabil):

$$i = i_1 = -i_2 = I_\infty \sqrt{2} (1 - \cos \omega t). \quad (3-53)$$

Rezultă că valoarea maximă a curentului de scurtcircuit este de $2I_\infty\sqrt{2}$, adică forța care apare este de $2^2 = 4$ ori mai mare, considerînd și procesul tranzitoriu, decît în cazul scurtcircuitului stabilizat. De asemenea, valoarea momentană a forței electrodinamice este proporțională cu expresia:

$$(1 - \cos \omega t)^2 = \frac{3}{2} - 2 \cos \omega t + \frac{1}{2} \cos 2\omega t.$$

Înseamnă că în expresia forței electrodinamice, alături de o componentă constantă, apare o componentă alternativă cu frecvența curentului f și o componentă cu frecvența dublă față de cea a curentului.

În cazul scurtcircuitului trifazat, curenții prin cele trei conductoare sînt :

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_{\infty} \sqrt{2} \left\{ -\cos(\omega t - \alpha_k) + \cos \alpha_k \exp\left[-\frac{t}{T_a}\right] \right\} \\ i_2 &= I_{\infty} \sqrt{2} \left\{ -\cos\left(\omega t - \alpha_k - \frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha_k - \frac{2\pi}{3}\right) \exp\left[-\frac{t}{T_a}\right] \right\} \\ i_3 &= I_{\infty} \sqrt{2} \left\{ -\cos\left(\omega t - \alpha_k - 2\frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(\alpha_k - 2\frac{2\pi}{3}\right) \exp\left[-\frac{t}{T_a}\right] \right\} \end{aligned} \right\} \quad (3-54)$$

Neglijînd amortizarea, deci punînd $\exp\left[-\frac{t}{T_a}\right] = 1$, expresia forței care se exercită între conductoare va depinde atît de t cît și de α_k . Pe baza unei analize asemănătoare cu cea de mai sus, se pot determina valorile α_k și t pentru care forțele au valori maxime. De asemenea, forțele maxime au valori tot de $2^2 = 4$ ori mai mari decît în cazul în care se consideră numai componentele periodice ale curenților de scurtcircuit.

Se subliniază faptul că metoda de calcul aplicată este acoperitoare, pentru că forța maximă are loc la un anumit interval de timp după producerea scurtcircuitului, cînd în realitate componenta aperiodică a curențului s-a micșorat.

3.3. ARCUL ELECTRIC

3.3.1. FENOMENE FIZICE ÎN ARCUL ELECTRIC

Fie un tub confecționat dintr-un material transparent, prevăzut la capete cu doi electrozi. În spațiul dintre electrozi se găsește o atmosferă formată din gaze sau vapori metalici. Tubul, în serie cu o rezistență R , se alimentează cu o tensiune continuă reglabilă (fig. 3.9). Deplasînd cursorul c din a spre b , se aplică circuitului tub-rezistență o tensiune crescătoare de la valoarea zero la valoarea maximă a acesteia; urmărind concomitent indicațiile aparatelor V și A , se poate trasa curba cădere de tensiune pe tub U funcție de intensitatea curențului prin tub, I (fig. 3.10).

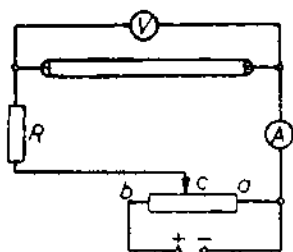


Fig. 3.9. Schema de montare a tubului alimentat cu tensiune reglabilă

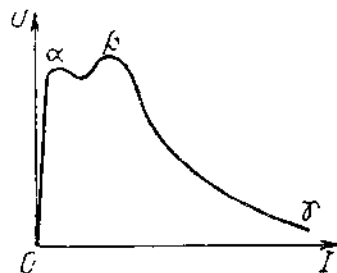


Fig. 3.10. Dependența căderii de tensiune pe tub — intensitatea curențului prin tub

Curba caracteristică a descărcării se compune din trei domenii, denumite: porțiunea $O\alpha$ — descărcare obscură; porțiunea $\alpha\beta$ — descărcare luminiscentă; porțiunea $\beta\gamma$ — descărcare în arc. În zona $O\alpha$, creșteri relativ mari ale tensiunii aplicate tubului conduc la creșteri liniare, însă foarte mici, ale curentului prin circuit. Conducția prin mediul de gaze în domeniul descărcării obscure se datorește ionilor pozitivi și electronilor care se găsesc în mod natural în spațiul dintre cei doi electrozi și care se deplasează datorită acțiunii forțelor de natură electrostatică.

În zona $\alpha\beta$, datorită intensității mărite a cimpului electric dintre electrozi, forțele care acționează asupra particulelor încărcate electric devin atât de mari încât acestea obțin viteze, deci energii cinetice considerabile; de aceea, ciocnirile dintre acestea și particulele neutre existente în drumul lor — ciocniri care în domeniul descărcării obscure au un caracter elastic — în zona descărcării luminiscente, conduc la excitarea acestora din urmă. Fenomenul excitării constă în faptul că o parte din energia particulelor care se ciocnesc se înmagazinează în acestea, electronii trecând de pe orbita lor stabilă, corespunzând unui anumit nivel energetic, de energie minimă, pe o orbită metastabilă la nivel energetic superior. După un interval de timp, de ordinul a 10^{-8} s, electronii își reiau poziția pe orbita lor stabilă, energia înmagazinată fiind eliberată sub forma unei cuante electromagnetice (foton). Orbitale (nivelele energetice) electronilor în atomi ocupă poziții (au valori) discrete; notînd cu W_s energia corespunzătoare atomului în stare normală și cu W_{ms} energia atomului excitat, frecvența f a radiației emise de către atom în momentul dezexcitării sale rezultă din relația:

$$hf = W_{ms} - W_s \quad (3-55)$$

unde $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ ergi este constanta lui Planck. Rezultă că, în funcție de natura mediului din tub, frecvența radiațiilor emise va fi diferită. Dacă frecvența cade în domeniul vizibil al spectrului radiațiilor electromagnetice, tubul (mediul din tub) va emite lumină.

În cursul descărcării luminiscente, tubul nu este uniform luminos (fig. 3.11). Refăcînd experiența de mai sus cu tuburi de diferite lungimi, se observă că variază lungimea coloanei pozitive, spațiul întunecat al lui Faraday și lumina negativă își păstrează practic dimensiunile. La scurtarea tubului se scurtează treptat coloana pozitivă pînă la dispariție, după care urmează scurtarea spațiului întunecat al lui Faraday, pentru ca, dacă electrozii sînt suficient de apropiați, tubul să emită radiații numai datorită luminii negative.

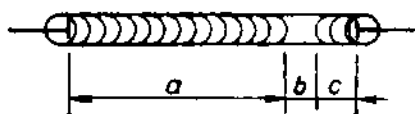


Fig. 3.11. Aspectul tubului în cursul descărcării luminiscente: a — coloana pozitivă; b — spațiul întunecat al lui Faraday; c — lumina negativă (catodică)

Rezultă posibilitatea obținerii de izvoare luminoase care folosesc exclusiv coloana pozitivă sau exclusiv coloana negativă.

În zona descărcării luminiscente, creșterea curentului prin circuit conduce la căderea de tensiune pe rezistența R , în așa fel încît căderea de tensiune pe tub încetează de a mai crește liniar cu curentul.

În domeniul $\alpha\beta$, dar mai ales în domeniul $\beta\gamma$ al descărcării în arc electric, alături de fenomenul de excitare a particulelor neutre, se manifestă intens și fenomenul de ionizare a lor. Ionizarea se produce atunci când energia înmagazinată în urma ciocnirilor este suficient de mare pentru a scoate cu totul unul sau mai mulți electroni din atom. În urma ionizării apar noi particule încărcate care acumulează energie în câmpul electric, putând produce ionizarea altor particule neutre. În cadrul descărcării în arc, fenomenul ionizării se manifestă cu mare intensitate, de aceea concentrația volumetrică a purtătorilor de sarcini electrice crește mult și curentul prin tub poate lua valori foarte mari, iar căderea de tensiune pe tub este redusă. Diferența între tensiunea de alimentare a circuitului și căderea de tensiune pe tub se repartizează pe rezistența în serie R .

Fenomenul ionizării se datorește accelerării particulelor ionizate, care rezultă fie datorită intensității mari a câmpului electric (ionizare prin șoc), așa cum s-a arătat mai sus, fie temperaturii ridicate, care determină în gaz o stare de agitație puternică (ionizare termică). În afară de acestea, ionizarea se mai poate produce și prin absorbția de către atomi a energiei radiațiilor (efect fotoelectric). Toate aceste moduri de ionizare coexistă în arcul electric, a cărui temperatură este de ordinul miilor de grade Kelvin.

Paralel cu ionizarea, în tub are loc și un proces de recombinaire a ionilor de semne contrare (deionizare), ceea ce conduce la eliberarea de energie sub formă cinetică pentru particulele rezultate și de fotoni. Luând în considerare și faptul că în colcana dintre electrozi au loc în mod intens și fenomene de excitare și dezexcitare a particulelor, se explică de ce arcul electric apare ca o sursă luminoasă foarte strălucitoare.

Datorită temperaturii ridicate care domnește în coloana arcului, electrozii se încălzesc și se pot distruge. De aceea, trebuie luate măsuri pentru limitarea temperaturii acestora; în cazul arcului care apare la închiderea și mai ales la deschiderea contactelor aparatelor electrice trebuie ca acesta să ardă o durată cât mai scurtă, pentru ca acțiunea defavorabilă a lui să fie cât mai redusă.

Ținând seama de faptul că intensitatea curentului pentru care apare arcul electric (corespunzător punctului p din fig. 3.10) este redusă, în studiul circuitelor care conțin arc electric acest curent se neglijează, cu alte cuvinte se consideră că arcul se „aprinde” atunci când tensiunea atinge valoarea „tensiunii de aprindere” U_a , la un curent zero (fig. 3.12).

În lungul arcului electric, tensiunea nu este uniform repartizată; în apropierea imediată a electrozilor au loc căderile de tensiune „anodică” ΔU_a și „catodică” ΔU_k ; restul căderii de tensiune se aplică coloanei arcului, care are lungimea practic egală cu distanța dintre electrozi; căderea de tensiune în coloana arcului variază practic liniar, astfel încât intensitatea câmpului electric în această zonă este constantă (fig. 3.13).

Trebuie notată importanța căderii de tensiune catodice pentru arderea arcului; datorită gradientului mare de potențial care are loc în zona catodului, din catod sînt smulși electroni care amorsează și întrețin procesul ionizării în lungul arcului. Emisia de electroni este ușurată dacă temperatura catodului este ridicată sau/și dacă acesta este acoperit cu materiale care cedează ușor electroni.

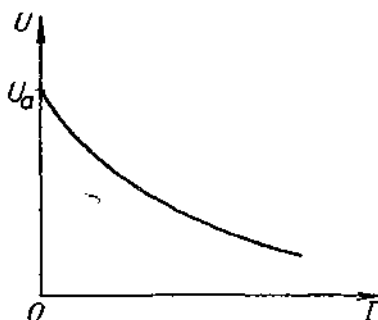


Fig. 3.12. Caracteristica simplificată a arcului electric

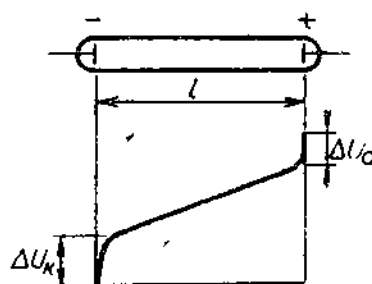


Fig. 3.13. Repartizarea căderii de tensiune de-a lungul arcului electric

3.3.2. ARCUL ELECTRIC DE CURENT CONTINUU

Ținând seama de cele arătate mai sus, tensiunea arcului are expresia :

$$U_a = \Delta U_a + \Delta U_k + E_c \cdot l_c = \Delta U_a + \Delta U_k + E_c l, \quad (3-56)$$

unde E_c este intensitatea (constantă) a câmpului electric în coloana arcului ; l_c — lungimea coloanei arcului, practic egală cu lungimea arcului, l .

La modificarea lungimii arcului, căderile de tensiune anodică și catodică își păstrează valoarea ; de aceea, tensiunea arcului variază proporțional cu lungimea lui (fig. 3.14).

Datorită modului diferit în care au loc fenomenele în arc la diferiți curenți, caracteristica acestuia are o porțiune incipientă căzătoare, apoi tensiunea rămâne practic constantă, pentru ca la curenți foarte mari tensiunea să crească din nou cu curentul.

Arcul electric de curent continuu se găsește în circuite întotdeauna în serie cu o rezistență care limitează curentul (rezistență de balast), așa cum se vede în figura 3.9. Circuitul conține în mod inevitabil și o inductivitate L , care este de exemplu inductivitatea parazită a circuitului. De aceea, schema completă a unui circuit cu arc electric arată ca în figura 3.15.

Ecuția tensiunilor în acest circuit este :

$$-L \frac{dI}{dt} = RI + U_a - U_s$$

sau

$$L \frac{dI}{dt} = (U_s - RI) - U_a. \quad (3-57)$$

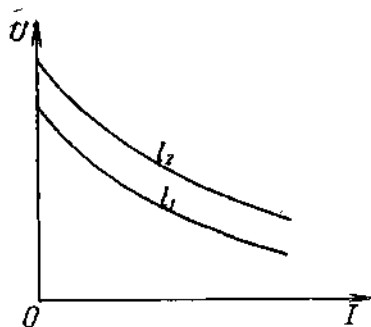


Fig. 3.14. Caracteristicile arcului electric pentru diferite lungimi ale sale

În figura 3.16 sînt trasate caracteristicile sursei $U_s - RI - f(I)$ — curba I — și a arcu-

lui $U_a = f(I)$ — curba 2. Cele două curbe se intersectează în general în două puncte A și B în care conform ecuației (3—51) $I = \text{ct.}$ De aceea cele două puncte reprezintă puncte de *ardere staționară* a arcului electric.

Presupunind că arcul arde astfel încât curentul diferă de valorile I_A și I_B , de exemplu are valoarea I_C , din figura 3.16 și din relația (3—57) se vede că $L \frac{dI}{dt} > 0$; întrucât $L > 0$, creșterea în timp a curentului este pozitivă, adică curentul crește tinzând spre valoarea I_B . Dacă curentul I_C este mai mare decât I_B (sau mai mic decât I_A), creșterea în timp a curentului este negativă; el se va

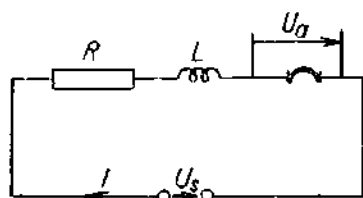


Fig. 3.15. Schema circuitului arcului de curent continuu

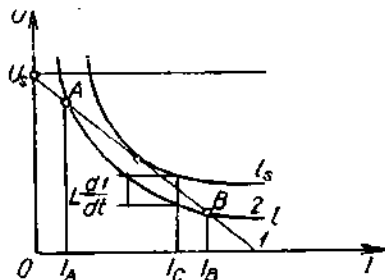


Fig. 3.16. Caracteristicile sursei (curba 1) și a arcului (curba 2)

micșora tinzând spre valoarea I_B (sau spre zero). Prin urmare, dintre cele două puncte de ardere staționară, numai punctul B (corespunzând intensității mai mari a curentului) este și punct de ardere *stabilă*; punctul A este punct de ardere instabilă, pentru că orice abatere a curentului fie conduce la stingerea arcului, fie îl mută în punctul B .

Comparînd figurile 3.16 și 3.14, se observă că alungirea arcului conduce la micșorarea curentului de ardere staționară; există o valoare maximă a lungimii arcului (l_s —în figura 3.16) pentru care arderea mai este posibilă; alungirea arcului peste această valoare conduce la stingerea acestuia.

3.3.3. ARCUL ELECTRIC DE CURENT ALTERNATIV

Circuitele cu arc electric de curent alternativ conțin în general în serie o rezistență și o inductivitate; ținînd seama de caracterul fundamental diferit în care rezistența și inductivitatea influențează fenomenele din circuit, se studiază mai jos cazurile limită cînd în serie cu arcul se găsește numai o rezistență și numai o inductivitate. De asemenea, pentru a se simplifica studiul, se consideră tensiunea arcului constantă, independentă de intensitatea curentului prin arc.

În cazul arcului electric în serie cu o rezistență (fig. 3.17), în intervalul de timp în care curentul nu trece prin circuit (arcul este stîns), ecuația t.e.m. este :

$$0 = U_a - U_s; \quad (i = 0) \quad (3-58)$$

cînd $i \neq 0$, ecuația se scrie :

$$0 = Ri + U_a - U_s \quad (i \neq 0) \quad (3-59)$$

Dacă circuitul se alimentează cu tensiune sinusoidală $U_s = U_{sm} \sin \omega t$, cele două ecuații se scriu :

$$\left. \begin{aligned} U_a &= U_{sm} \sin \omega t & (i = 0) \\ i &= \frac{U_{sm} \sin \omega t - U_a}{R} & (i \neq 0, U_a = \text{ct}) \end{aligned} \right\} \quad (3-60)$$

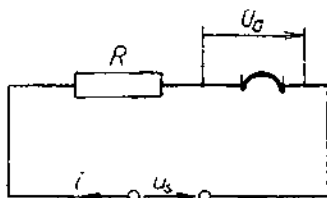


Fig. 3.17. Schema arolui de curent alternativ în serie cu o rezistență

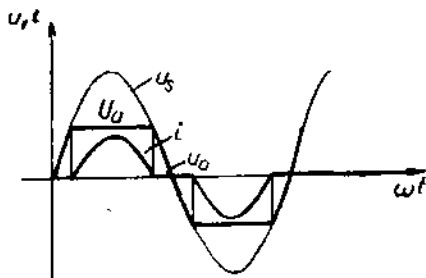


Fig. 3.18. Variația tensiunii alternative la borne, a tensiunii între electrozi și a intensității curentului într-un circuit cuprinzînd un arc electric în serie cu o rezistență

Ecuațiile (3-60) sînt reprezentate în figura 3.18. Caracteristice sînt perioadele de pauză de curent, în care tensiunea între electrozi crește, ca și tensiunea de lucru, pînă la valoarea de aprindere ; din acest moment și pînă la stingerea arcului tensiunea acestuia rămîne constantă, iar curentul prin circuit variază conform virfului unei sinusoidă. Datorită pauzei de curent, în cursul căreia arc se răcește, are loc un intens proces de deionizare ; de aceea arc de curent alternativ în serie cu o rezistență poate fi stins relativ ușor.

În cazul arcului electric în serie cu o inductivitate (fig. 3.19), ecuația tensiunilor are forma :

$$-L \frac{di}{dt} = U_a - U_s. \quad (3-61)$$

Considerînd tensiunea $u_s = U_{sm} \sin \omega t$ și integrînd, se obține :

$$i = - \left[\frac{U_{sm}}{\omega L} \cos \omega t + \frac{U_a}{\omega L} \right] + C, \quad (3-62)$$

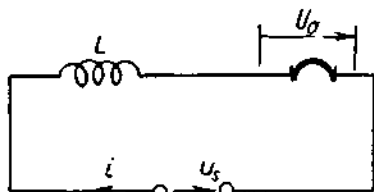


Fig. 3.19. Schema arolui de curent alternativ în serie cu o inductivitate

C fiind o constantă de integrare. Ea se determină punînd condiția ca intensitatea curen-

tului să se anuleze după φ grade de la trecerea curentului prin zero, adică ($\omega t = \varphi$, $i = 0$). Rezultă:

$$i = \frac{U_{sm}}{\omega L} (\cos \varphi - \cos \omega t) + \frac{U_a}{\omega L} (\varphi - \omega t). \quad (3-63)$$

Curentul va fi nul și peste încă o jumătate de perioadă, deci ($\omega t = \pi + \varphi$, $i = 0$). Se obține:

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U_{sm}} \frac{\pi}{2} \quad (3-64)$$

și deci

$$i = -\frac{U_{sm}}{\omega L} \cos \omega t + \frac{U_a}{\omega L} \left[\frac{\pi}{2} + \varphi - \omega t \right]. \quad (3-65)$$

Reprezentarea grafică a relației (3-65) este dată în figura 3.20. Procedeul de construcție este următorul. Se trasează curba tensiunii la borne și cea a componentei sinusoidale a curentului. Apoi, la unghiul φ , respectiv $\pi + \varphi$, se figurează cu semn schimbat valorile momentane ale componentei sinusoidale a curentului. Aceste puncte se unesc printr-o dreaptă, care reprezintă componenta liniară a curentului prin circuit. Curba curentului rezultat se determină prin puncte. Tensiunea arcului se reprezintă prin trepte de același semn cu curentul rezultat.

Studiul figurii 3.20 arată că în momentul trecerii curentului prin valoarea zero, deci când arcul este stins, între electrozi apare instantaneu tensiunea

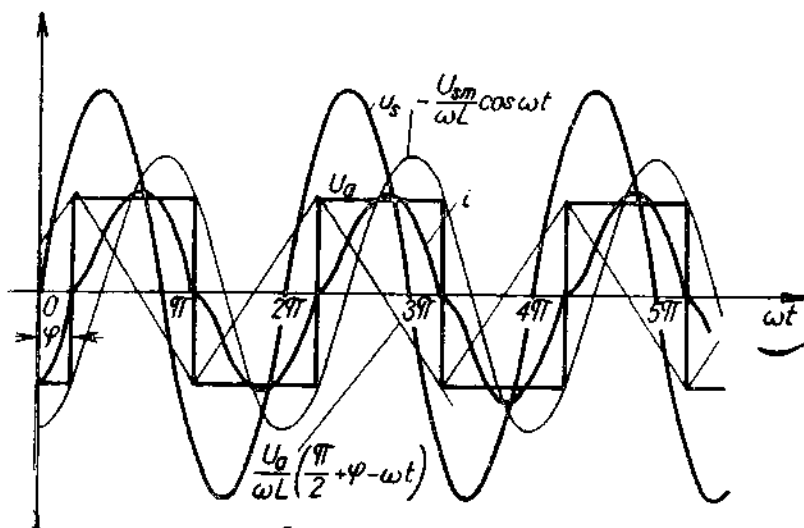


Fig. 3.20. Variația tensiunii alternative la borne, a tensiunii arcului, a intensității curentului și a componentelor sale într-un circuit cuprinzând un arc electric în serie cu o inductivitate

rețelei cu valoarea ei momentană; dacă această tensiune este mai mare decât tensiunea de aprindere a arcului, acesta se reaprinde imediat și arderea arcului este în acest caz continuă. Dacă însă tensiunea rețelei care apare în momentul stingerii arcului este mai mică decât tensiunea de aprindere, arcul rămâne stins un interval pînă cînd tensiunea la borne crește suficient.

Rezultă în orice caz că arcul de curent alternativ în serie cu o inductivitate se stinge mult mai greu decât în cazul arcului în serie cu o rezistență, sau altfel, pentru asigurarea arderii stabile a arcului electric de curent alternativ, este mai avantajoasă situația în care arcul se găsește în serie cu o inductivitate decât cu o rezistență.

3.3.4. APRINDEREA ȘI STINGEREA ARCULUI ELECTRIC

Din cele arătate mai sus rezultă că, pentru aprinderea arcului electric, este necesar să se ia măsuri care să asigure condiții cît mai bune de ionizare a spațiului descărcării și în special a zonei din apropierea catodului. Prin urmare, pentru aprinderea arcului, se vor aplica separat sau concomitent următoarele metode.

a. Se mărește intensitatea cîmpului între electrozi, fie pe baza apropierii lor, fie aplicînd un impuls de tensiune. Pe această cale se asigură extragerea unor electroni din catod, care pot amorsa descărcarea.

b. Se încălzesc electrozii, pentru a micșora lucrul mecanic de ieșire a electronilor din metal.

c. Se folosesc electrozi speciali, acoperiți cu substanțe care emit ușor electroni.

În vederea stingerii arcului electric, dimpotrivă, trebuie luate măsuri pentru deionizarea energică a spațiului dintre electrozi. De asemenea, alungirea lui asigură stingerea rapidă a arcului. În consecință se aplică următoarele metode.

a. Alungirea arcului, care se realizează prin îndepărtarea contactelor sau prin suflarea lui pe o cale oarecare (electromagnetică, pneumatică, cu gaz sau ulei).

b. Deionizarea activă a spațiului dintre contacte. În acest scop coloana arcului trebuie răcită cît mai energic. Suflarea arcului sau asigurarea unui mediu bun conductor termic în zona de ardere a acestuia contribuie în mod activ la deionizarea particulelor.

c. Divizarea arcului. Arcul electric este suflat peste un grătar de stingere, care constă dintr-o serie de plăci din cupru sau oțel situate perpendicular pe direcția arcului. În acest caz arcul se divide într-un număr de arcuri scurte, legate în serie și care ard între electrozi relativ reci, așa fel încît o mare parte din tensiunea totală a arcului se consumă pe căderile de tensiune anodice și catodice ale fiecăruia dintre arcurile scurte. La trecerea prin zero a curentului alternativ toate arcurile se sting și se formează aproape instantaneu în apropierea catodilor cîte un spațiu deionizat, pentru a cărui străpungere tensiunea aplicată între contacte nu este suficientă; de aceea arcul nu se mai reaprinde.

d. Mărirea presiunii în zona de ardere a arcului.

e. Introducerea în serie sau în paralel cu arcul a unei rezistențe care micșorează defazajul între tensiune și curent.

În legătură cu fenomenele descrise trebuie amintit faptul că stingerea arcului electric, deci variația curentului prin circuit de la o valoare oarecare la zero, conduce la inducerea unor t.e.m. în inductivitățile circuitului. Cu cât stingerea este mai rapidă, cu atât aceste t.e.m. — denumite supratensiuni de comutație — vor fi mai mari, putând pune eventual în pericol izolația circuitului. De aceea, în unele cazuri, problema supratensiunilor de comutație trebuie studiată în mod separat.

3.4. CONTACTE ELECTRICE

Contactele constituie o parte foarte importantă a aparatelor și instalațiilor electrice, de aceea buna funcționare a acestora depinde în mare măsură de construcția și starea contactelor.

Contactele se clasifică în contacte fixe (rigide), mobile și glisante (perii).

Pentru a funcționa în bune condiții, contactele trebuie să fie executate din același material; în caz contrar, la locul contactului, datorită potențialelor electrochimice diferite ale metalelor, sub acțiunea umidității se formează pile galvanice locale, care pot conduce la coroziunea și deci la distrugerea contactelor. În afară de aceasta, contactele mobile trebuie să fie astfel construite încât temperatura datorită rezistenței de contact să nu depășească o valoare admisibilă; rezistența lor mecanică trebuie să asigure efectuarea unui anumit număr de conectări și deconectări, să reziste în bune condiții la acțiunea arcului electric ce se produce la deschidere, respectiv să nu aibă loc sudarea și distrugerea lor la închiderea în cursul unui scurtcircuit. De asemenea, în poziție închisă, să aibă stabilitate termică și electrodinamică suficientă când sunt străbătute de curenți mari de scurtcircuit.

3.4.1. TIPURI DE CONTACTE

Figura 3.21 prezintă modul de execuție a unor tipuri de contacte fixe. În cazul figurilor 3.21, *a* și *b* se vede modul de realizare a îmbinării a două bare plate prin suprapunere, cu șuruburi sau nituri. Figura 3.21, *c* prezintă modul de îmbinare a două bare cilindrice: bușele de contact cu despicături longitudinale 2 sînt strînse între bare și manșonul 1 cu ajutorul piuliței 3.

Figura 3.21, *d* prezintă o clemă destinată executării legăturii între conductoarele de aluminiu în doză: conductoarele se strîng între piulița 1 și rondela 2 cu ajutorul șurubului 4; pentru asigurarea presiunii și în perioada cînd aluminiul s-a deformat, servește șaiba elastică (Grower) 3.

În figura 3.21, *e* se vede o clemă de șir destinată executării legăturilor la tablouri; cleva constă din corpul izolator 1 și piesa metalică 2, în care se fixează capetele conductoarelor prin strîngerea șuruburilor 3. Șirul de cleme se fixează pe suportul 5 prin intermediul arcului de oțel 4.

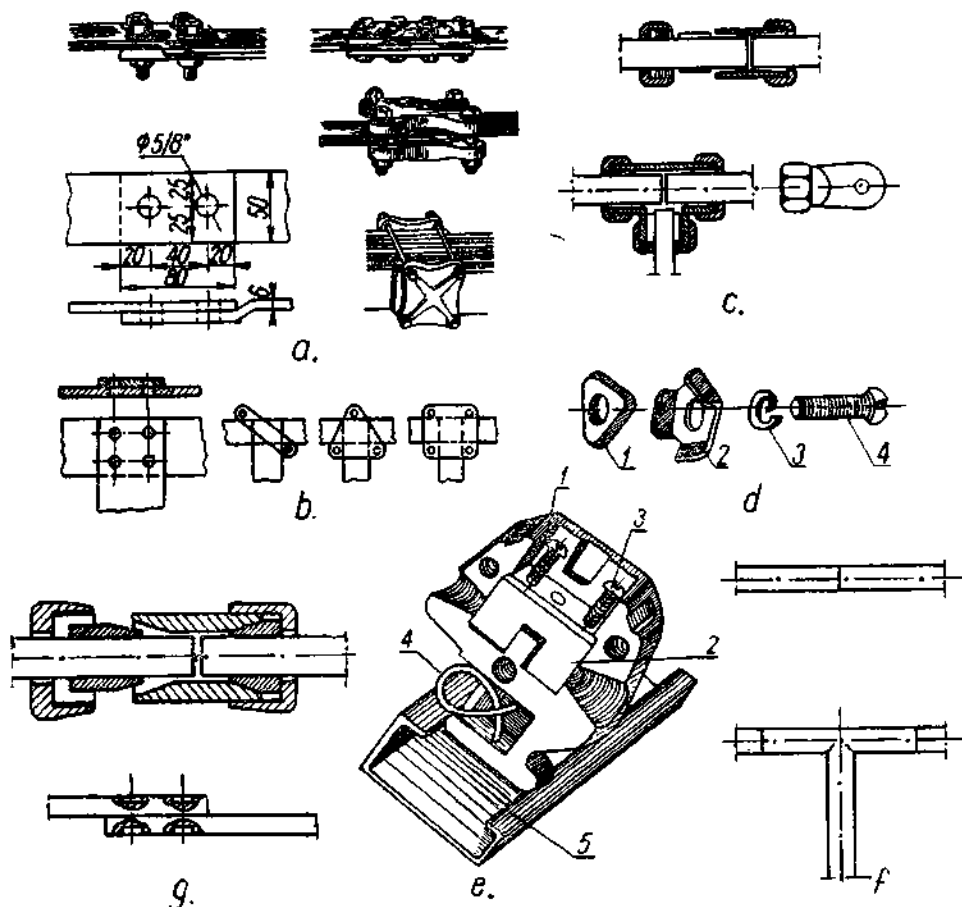


Fig. 3.21. Tipuri de contacte fixe

În prezent se dezvoltă aplicarea procedurii de sudare la rece a conductoarelor. În acest scop cele două conductoare care urmează a fi îmbinate se prind într-un clește special și capetele lor frontale se apasă unul de altul pînă cînd se produce sudarea lor (fig. 3.21, *f*). În cazul derivațiilor se folosesc piese intermediare în formă de *T*. Și barele pot fi sudate la rece prin puncte (fig. 3.21, *g*).

Conductoarele subțiri din cupru pot fi înădite la capete prin simplă răsucire; acest procedeu nu este admis la conductoarele din aluminiu. De aceea conductoarele subțiri din aluminiu se înădesc cu ajutorul unor cleme speciale, care asigură aplicarea unor forțe mari și constante asupra pieselor în contact cu ajutorul unui element elastic (fig. 3.21, *d*).

În toate cazurile, suprafața care urmează să realizeze contactul electric se curăță cu multă grijă înainte de realizarea îmbinării, pentru a avea o rezistență de contact cît mai redusă.

Îmbinarea pieselor din materiale diferite este o problemă destul de dificilă, mai ales dacă cele două metale sînt cuprul și alumi-
niul, datorită pericolului de coroziune.

În asemenea cazuri rezultate bune dă sudarea, în special sudarea la rece, conform figurilor 3.21, *f* și *g*. După sudare, porțiunea din jurul îmbinării barelor trebuie vopsită pentru a se preveni pătrunderea umezelii. În cazul îmbinărilor fixe demontabile între piese din cupru și aluminiu, între suprafețele de contact ale acestora se intercalează elemente din cupal, care au o față din aluminiu și cealaltă din cupru; contactul între cele două metale se realizează, în acest fel, în miezul elementului din cupal, unde accesul umezelii din atmosferă este împiedicat.

Contactele electrice mobile pot fi clasificate principal în contacte punctiforme, liniare sau de suprafață (fig. 3.22). În realitate, contactele se prezintă mai mult sau mai puțin ca un sistem complex de contacte punctiforme; într-adevăr, datorită rugozității suprafețelor, atît contactele liniare cît și cele de suprafață se reduc la un număr mai mare sau mai mic de contacte punctiforme conectate în paralel. Dacă s este suprafața unui contact „punctiform”, iar n numărul acestor contacte punctiforme, suprafața totală de contact este:

$$S = ns.$$

(3-66)

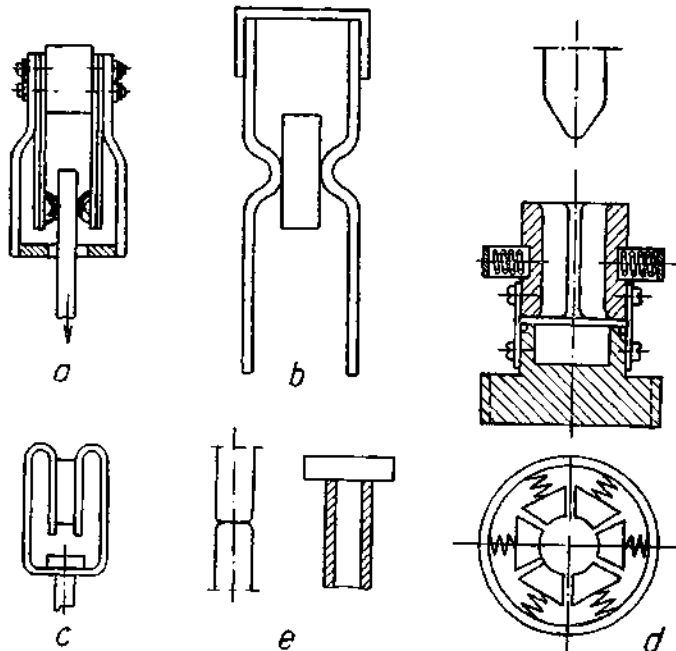


Fig. 3.23. Tipuri uzuale de contacte mobile: *a* — contacte punctiforme; *b* — contacte liniare; *c* — contacte de suprafață; *d* — contacte tulpă; *e* — contacte frontale.

Suprafața totală de contact este legată de forța cu care sînt apăsate piesele una de alta prin relația :

$$S = F/\sigma, \quad (3-67)$$

unde σ este rezistența la curgere a materialului contactului.

Cele două relații scrise arată că există două tipuri limită de contacte : primul tip conține contactele la care prin mărirea forței de apăsare numărul punctelor de contact n rămîne constant, suprafața S crescînd numai pe seama creșterii suprafețelor elementare s ; la al doilea tip, cu creșterea forței crește numai n , suprafața s rămînînd neschimbată. Contactele punctiforme, respectiv cele de suprafață, se apropie de primul, respectiv de al doilea tip limită. În realitate însă, toate contactele se așează în plaja cuprinsă între cele două cazuri limită.

Figura 3.23 prezintă cîteva moduri de execuție a contactelor aparatelor de închidere și deschidere a circuitelor.

3.4.2. REZISTENȚA DE CONTACT

Experiența arată că la locul contactului dintre două piese apare o rezistență electrică, oricare ar fi forma pieselor. Această rezistență, denumită „rezistență de contact”, se datorește, pe de o parte, stratului de impurități care eventual acoperă suprafețele.

Pe de altă parte, rezistența de contact are o anumită valoare și în cazul cînd suprafețele sînt perfect curate ; existența ei se explică prin aceea că, datorită rugozității suprafețelor, acestea nu vin în contact direct decît într-un număr redus de puncte (fig. 3.24). Din această cauză liniile de curent se strîng în apropierea suprafețelor elementare de contact, folosind în măsură redusă secțiunea aparentă a conductoarelor.

Pentru studiul analitic al problemei rezistenței de contact, se consideră o singură suprafață elementară de contact s , care pentru simplificare se consideră circulară, de rază a ($s = \pi a^2$) (fig. 3.25). Din cauza valorii relative foarte mici a suprafeței s , suprafața piesei de contact se consideră infinită. În aceste condiții,



Fig. 3.24. Contactul a două suprafețe

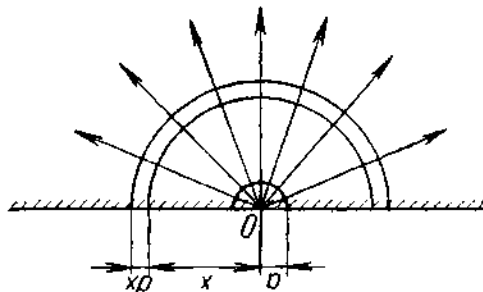


Fig. 3.25. Contact elementar pe o suprafață

suprafețele echipotențiale în piesă sînt emisfere ; rezistența electrică a volumului cuprins între două emisfere infinit apropiate este :

$$dR = \rho \frac{dx}{2\pi x^2}, \quad (3-68)$$

unde ρ este rezistivitatea materialului din care este confecționat contactul ; prin urmare rezistența contactului rezultă sub forma :

$$R = \rho \int_a^\infty \frac{dx}{2\pi x^2} = \frac{\rho}{2\pi a} = \frac{\rho}{2 \sqrt{\pi} \sqrt{s}}. \quad (3-69)$$

Rezistența de contact totală este de două ori valoarea calculată, ținînd seama și de conductorul superior. Pe de altă parte, piesele vin în contact în n puncte distincte, așa încît rezistența de contact este

$$R_c = \frac{2R}{n} = \frac{\rho}{\sqrt{\pi n} \sqrt{s}}. \quad (3-70)$$

Relațiile (3-66) și (3-67) stabilesc legătura între F , n și s sub forma :

$$ns = \frac{F}{\sigma}. \quad (3-71)$$

În cazul în care prin creșterea forței suprafața reală de contact crește numai prin modificarea lui s , n rămînînd constant, eliminînd s între (3-70) și (3-71) se obține :

$$R_c = \frac{\rho \sqrt{\sigma}}{\sqrt{\pi n} \sqrt{F}} = \frac{K_1}{F^{0,5}}, \quad (3-72)$$

unde K_1 este o constantă. În celălalt caz extrem, cînd creșterea forței de apăsare conduce la creșterea lui n , s rămînînd constant, analog se obține :

$$R_c = \frac{\sigma \sqrt{s}}{\sqrt{\pi} F} = \frac{K_2}{F}, \quad (3-73)$$

K_2 fiind o altă constantă.

Rezultă că, în cazul general, rezistența de contact variază invers proporțional cu forța de apăsare F ridicată la o putere m cuprinsă între 0,5 și 1, fapt confirmat pe cale experimentală.

3.4.3. SUDAREA CONTACTELOR

Dacă curentul prin contacte întrece o anumită valoare, acestea se încălzesc în mod excesiv, se topesc la suprafață și apoi, la micșorarea curentului, se sudează. Fenomenul se explică prin aceea că în cele două contacte, în apropierea suprafețelor de contact, liniile de curent au componente paralele și de semne contrare

(vezi fig. 3.24); de aceea între ele se exercită forțe de respingere, adică din forța de apăsare dintre contacte se scade o forță electrodinamică, proporțională cu pătratul curentului. În acest mod, forța de apăsare efectivă scade, rezistența de contact crește și are loc topirea metalului și apoi sudarea contactelor.

Sudarea poate apare la întreruptoare încorect dimensionate datorită ciocnirii elastice la închiderea contactelor.

3.5. CONDUCTOARE, CABLURI, ACCESORII

3.5.1. CONDUCTOARE ȘI CABLURI

3.5.1.1. Generalități. Conductoarele electrice se execută din elementul activ (conductor) și izolație.

Elementul activ este realizat dintr-un metal și anume cupru, aluminiu, oțel sau aliaje ale acestora.

Constructiv, conductoarele se execută unifilare sau multifilare. Cele unifilare sînt realizate dintr-o singură sîrmă cu secțiune masivă; cele multifilare se execută din 7, 12 sau 37 fire separate, torsionate între ele. Avantajul conductoarelor multifilare față de cele unifilare constă în flexibilitatea lor și în faptul că efectul pelicular în curent alternativ se resimte mai puțin. De asemenea, conductoarele multifilare rezistă mai bine la solicitările la oboseală.

Izolația conductoarelor are rolul de a preîntîmpina atingerea părților metalice aflate la potențiale diferite; de asemenea, izolația servește pentru protejarea conductoarelor împotriva acțiunilor mecanice și a agenților din mediul ambiant. În scopul ușurării execuției și exploatarei, culoarea izolației trebuie prevăzută conform destinației elementului activ; astfel, conductorul de nul de lucru — alb sau cenușiu deschis; conductorul de nul de protecție — verde cu galben; conductoarele de fază — negru, albastru și maro.

În prezent, în instalațiile electrice se folosesc conductoare simple, conductoare multiple (corderoane) și cabluri. Notarea (indicativul) acestora este în așa fel făcută încît să dea informații cît mai complete asupra naturii conductorului și a izolației sale, asupra secțiunilor, a numărului de conductoare, precum și a protecției față de mediul ambiant. Astfel, pentru *conductoare*, se notează cu F — instalații fixe; A — armătură cu sîrmă rotundă sau conductor de aluminiu (cînd este scris la începutul simbolului conductei); C — cauciuc; f — flexibil; ff — foarte flexibil; s — suspendare; Y — masă plastică; S — izolație (execuție) specială; I — înveliș rezistent la intemperii. Astfel, de exemplu, 25 AFY înseamnă conductor de aluminiu de secțiune 25 mm², cu izolație de material plastic; 2×4 FYY — conducte de cupru, paralele, plate, cu izolație și manta de material plastic, două conductoare a câte 4 mm².

Corderoanele sînt ansambluri de mai multe conductoare, folosite pentru alimentarea instalațiilor mobile. Notarea lor se face astfel: M — instalații mobile (cordon); C — cauciuc; p — execuție plată; U — execuție ușoară; M — execuție

mijlocie; *T* — tresă textilă. De exemplu, *MCMP* 2×2,5 reprezintă cordon în manta de cauciuc, execuție mijlocie, plat, cu două vine a 2,5 mm² secțiune.

Cablurile sînt elemente construite din mai multe conductoare, reunite și protejate împreună printr-o manta. Ele se folosesc la transportul puterilor mari sau/și cînd este necesară o protecție mecanică, anticorosivă sau ignifugă specială. Notarea lor: *C* — cablu de energie; *H* — hîrtie; *Y* — material plastic; *P* — plumb; *I* — înveliș protector; *B* — armătură din benzi de oțel; *M* — pentru receptor; *G* — execuție grea. Litera *A*, plasată la începutul indicatorului, înseamnă conductoare de aluminiu; absența literei *A* înseamnă conductoare din cupru. De exemplu, *ACHP* 3×25+1×16 înseamnă cablu cu conductoare din aluminiu, trei de 25 mm², unul de 16 mm² secțiune, izolat cu hîrtie impregnată și în manta de plumb.

3.5.1.2. Conductoare de joasă tensiune pentru montaj aerian în interiorul sau exteriorul construcțiilor. Domeniul de utilizare. Pentru montaj aerian se utilizează conductoare de cupru, aluminiu, conductoare multifilare de oțel, oțel-aluminiu neizolate (blanc). De asemenea, în mediu corosiv sau acolo unde nu se pot păstra distanțele de protecție față de elementele de construcție și alte instalații, se utilizează conductoare de cupru sau aluminiu cu izolație rezistentă la agenți atmosferici sau anumite medii corosive (la construcții provizorii, șantiere, industrii de importanță redusă).

În instalațiile interioare, conductoarele neizolate sînt utilizate numai în industrie, în cazul în care mediul corosiv ar provoca distrugerea izolației sau acolo unde sînt necesare linii de contact pentru mașini de ridicat și transportat.

Conductoarele de cupru se utilizează numai în medii corosive, în cazul în care stabilitatea chimică a cuprului este superioară celei a aluminiului.

3.5.1.3. Conductoare de joasă tensiune pentru montare în tuburi în instalațiile electrice interioare. Domeniul de utilizare. În instalațiile interioare pentru montaj în tuburi se utilizează conductoare de aluminiu sau cupru cu izolație din cauciuc, policlorură de vinil sau izolație rezistentă la temperaturi ridicate.

Conductoarele de cupru, dat fiind caracterul deficitar al acestui material, se utilizează numai în condiții speciale din punct de vedere funcțional sau al mediului și anume:

1) în clădirile cu săli aglomerate (teatre, cinematografe, cluburi cu săli în care apar mai mult de 200 persoane, magazine și restaurante cu o suprafață de peste 1 000 m², spații de desfășurare etc.);

2) în clădirile ce reprezintă sau adăpostesc valori de importanță națională din punct de vedere economic sau cultural (expoziții, muzee etc.);

3) în clădirile cu caracter reprezentativ (unicat) cu dotări și finisaje deosebite din zona litoralului sau zona lacurilor sărate, neprevăzute cu instalații de încălzire;

4) în clădirile ce adăpostesc procese vitale ale producției de energie electrică;

5) în sălile grupului operator, reanimare, tratament, supraveghere sau alte încăperi în care întreruperea alimentării cu energie electrică ar putea periclita vieți omenești, din spitale, policlinici, coloanele ascensoarelor ce transportă bolnavi și circuitele aparatelor tehnologice din laboratoarele de cercetări importante ale spitalelor;

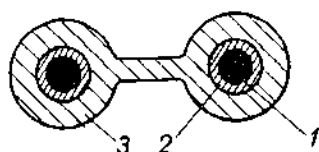


Fig. 3.26. Secțiune printr-o conductă *INTENC*

6) pentru circuitele de alimentare a motoarelor pompelor de incendiu și circuitele instalației de avertizare a incendiilor;

7) pentru instalații de iluminat de siguranță, cu excepția iluminatului de evacuare la construcții de importanță redusă (locuințe unde poate fi utilizat și aluminiu);

8) pentru circuitele de comandă, automatizare, protecție, semnalizare, măsură, control, destinate unor receptoare importante (de exemplu, comanda agregatelor de ventilație pentru gaze toxice, comanda pompelor de incendiu etc.);

9) în instalațiile supuse șocurilor și vibrațiilor (macarale, vibratoare etc.);

10) în instalațiile de protecție împotriva tensiunilor accidentale de atingere, când nu poate fi utilizat oțelul;

11) în încăperile cu degajări corosive, dacă stabilitatea chimică a cuprului este superioară celei a aluminiului.

Aluminiul se utilizează în toate clădirile, încăperile și instalațiile care nu impun condiții speciale funcționale, de siguranță sau exploatare, adică cu excepțiile indicate mai sus.

Din punctul de vedere al izolației, se preferă conductoare izolate în policlorură de vinil, fiind mai economice, dacă condițiile de temperatură o permit ($-5^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$ — în timpul montajului și $-20^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$ — în timpul exploatarei).

3.5.1.4. Conducte cu izolație și manta (conducte *INTENC*). Conductele cu izolație electrică și manta de protecție mecanică din policlorură de vinil sînt destinate instalațiilor de joasă tensiune (circuite) pentru montaj direct pe elementele de construcție îngropate sub tencuială. O conductă cu izolație și manta are alcătuirea din figura 3.26, 1 fiind elementul activ, 2—izolația electrică, iar 3—izolația mecanică (mantaua).

Se utilizează în încăperile uscate sau umede cu intermitență din construcțiile de locuințe sau alte construcții civile de importanță mai mică, sau acolo unde considerentele constructive împiedică utilizarea altor conducte (construcții din prefabricate). Deoarece în caz de aprindere a izolației la depășirea temperaturilor admise prezintă pericol de incendiu, nu se pot monta pe elemente de construcție din materiale combustibile.

Conductele *AFYY*, datorită protecției mecanice simple, sînt utilizate în trasee recuperabile (ce permit înlocuirea relativ ușoară a lor). Conductele *AFYYS*, datorită protecției mecanice superioare, pot fi utilizate în trasee condamnate (nerecuperabile).

3.5.2. CABLURI DE JOASĂ TENSIUNE

După destinație, cablurile se pot clasifica în:

a — cabluri pentru transportul energiei electrice de joasă tensiune (500 și 1 000 V), medie și înaltă tensiune;

b — cabluri de semnalizare, automatizare (pînă la 250 V), tip *CS*;

c — idem, pînă la 500 V c.a. și 1000 V c.c., tip CC;

d — cabluri de măsură, comandă la 500 V c.a. și 1000 V c.c. tip CM.

Cablurile cu conductoare de cupru se utilizează în condițiile indicate pentru conductoare simple în paragraful 3.5.1.3; cele cu conductoare de aluminiu ocupă restul domeniului de utilizare.

În general însă, se evită utilizarea cablurilor în instalațiile electrice de joasă tensiune, ele fiind prevăzute numai acolo unde o instalație obișnuită în tuburi de protecție nu este posibil să se execute (de exemplu instalații exterioare subterane, medii care cer un grad înalt de etanșeitate, fie din punct de vedere al umidității, fie din punct de vedere al degajărilor corosive etc.).

După natura izolației directe pe elementul activ, cablurile se pot clasifica astfel:

- a* — cabluri cu izolație de cauciuc;
- b* — cabluri cu izolație de hîrtie;
- c* — cabluri cu izolație de material plastic (PVC).

După izolația de protecție, cablurile se pot clasifica astfel:

- a* — cabluri cu manta de plumb (la conductoare izolate în cauciuc sau hîrtie);
- b* — cabluri cu manta din material plastic (PVC);
- c* — cabluri cu manta din cauciuc.

După natura izolației suplimentare de protecție, cablurile se pot clasifica astfel:

- a* — cabluri cu manta dublă;
- b* — cabluri cu înveliș protector (la diverși agenți din mediul respectiv);
- c* — cabluri armate (pentru protecție mecanică);
- d* — cabluri armate și cu înveliș protector.

Trebuie menționat că învelișul de iută este inflamabil.

În figura 3.27 este arătată, pentru exemplificare, construcția cablului ACYYB sau CYYB.

Utilizarea diverselor tipuri de cabluri este limitată de temperatura de montaj și de cea de exploatare.

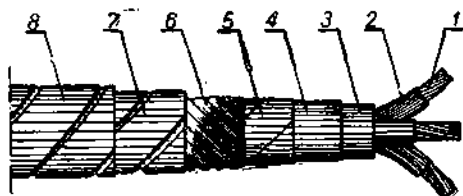


Fig. 3.27. Cablul ACYYB (CYYB): 1 — conductă din aluminiu (cupru); 2 — izolație din policlorură de vinil (PVC), pe fiecare conductor; 3 — înveliș de umplutură, din PVC, comun; 4 — manta din PVC; 5 — hîrtie impregnată cu masă de protecție; 6 — sfoară de cinepă impregnată; 7, 8 — benzi de oțel

3.5.3 TUBURI

Tuburile sînt elemente care protejează conductoarele introduse în ele împotriva loviturilor; ele au și rolul de izolanț electric, respectiv, uneori, pe cel de a izola conductoarele de mediul ambiant (etanșare). Diametrul tubului se alege în funcție de numărul și secțiunea conductoarelor pe care le protejează. În prezent se folosesc tuburi metalice de următoarele tipuri: tuburi *P* — de protecție din bandă de oțel îmbinată prin suprapunere, protejată prin lac anticorrosiv la interior și exterior; tuburi *IP* — izolante ușor protejate cu

căptușeală interioară izolantă din carton impregnat cu bitum și cu înveliș din bandă de oțel plumbuită, îmbinată prin fălțuire; tuburi *IPE* — izolante, de protecție, etanșe, din bandă de oțel îmbinată prin sudare, cu căptușeală izolantă din carton impregnat cu bitum; tuburi *PEL* — protejate, etanșe, lăcuite, asemănătoare cu tuburile *IPE*, dar fără căptușeală izolatoare. Îmbinarea tuburilor *P* și *IP* se face prin manșoane libere, cea a tuburilor *IPE* și *PEL* — prin manșoane filetate.

Tuburile metalice se înlocuiesc azi, în unele cazuri, prin tuburi de PVC. Ele au caracteristici mecanice inferioare celor metalice, iar temperatura de funcționare este cuprinsă între -25 și $+40^{\circ}\text{C}$. În prezent se realizează tuburi *IPY* și *IPEY*.

3.6. BARE COLECTOARE ȘI DE DISTRIBUȚIE

În centrale electrice, în stații și posturi de transformare, legătura electrică între diferite compartimente se realizează cu ajutorul *barelor colectoare*. În posturile de transformare și tablourile generale de joasă tensiune pentru lumină și forță, iar uneori (în industrie), pentru distribuția energiei și alimentarea utilajelor, sint utilizate *barele de distribuție* (fig. 3.28).

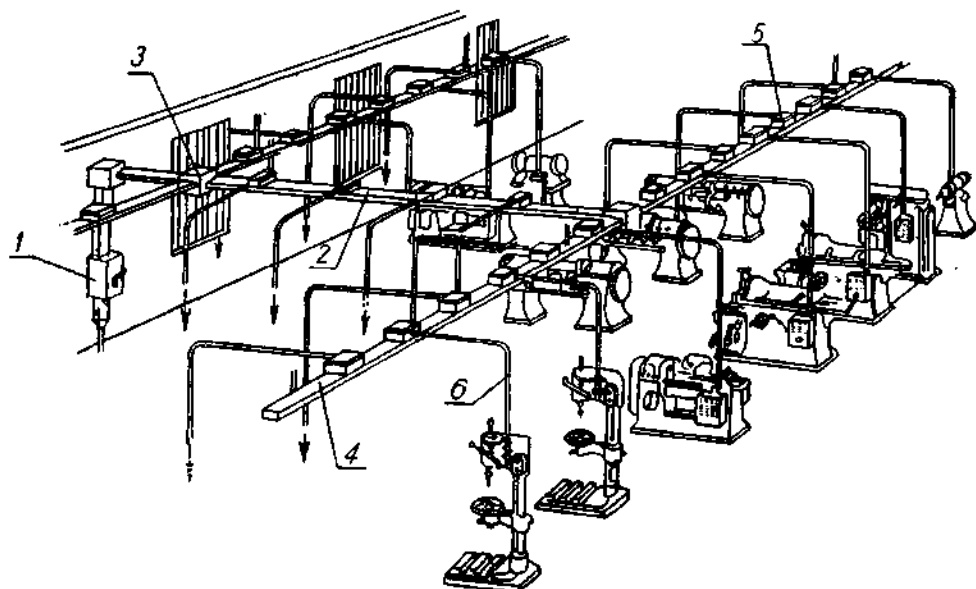


Fig. 3.28. Instalație electrică de distribuție cu bare protejate într-un atelier: 1 — intreruptor în cutie capsulată; 2 — distribuție principală cu bare de aluminiu; 3 — cutii de ramificație; 4 — distribuție secundară; 5 — cutii cu siguranțe; 6 — coloană de alimentare a receptorului cu conductoare introduse în tuburi de protecție.

Barele, cu excepția construcțiilor capsulate, sînt întotdeauna constituite din conductoare neizolate, bare, tuburi, iar la instalații în aer liber — din funii fixate prin lanțuri de izolatoare. Ele se construiesc din cupru, aluminiu, rar din magneziu. Barele de distribuție se pot executa și din oțel, fiind însă limitate pînă la 200 A în curent alternativ.

Barele de cupru se utilizează numai în medii corosive, cînd stabilitatea chimică a cuprului este superioară aluminiului și oțelului pentru mediul respectiv și cînd nu se pot executa acoperiri anticorosive sigure.

Din motive de răcire, secțiunea de preferat este cea dreptunghiulară, cu latura mare verticală. La curenți mari se pun mai multe bare în paralel sau se folosesc uneori două profile *U* (II).

În vederea protejării barelor față de mediul ambiant și pentru a le putea deosebi între ele, fazele se vopsesc în trei culori diferite (roșu, galben, albastru — fazele, negru cu alb — nulul de lucru, negru, cenușiu sau alb — nulul de protecție); acest procedeu mărește capacitatea de încărcare a barelor cu 20—30%, datorită creșterii coeficientului de radiație termică.

Barele se dispun într-un plan orizontal, vertical sau oblic, sau în vîrfurile unui triunghi echilateral sau dreptunghic.

3.6.1. CALCULUL TERMIC AL BARELOR

Barele se dimensionează la încălzire corespunzător regimului de lungă durată. Pe această bază, s-au întocmit tabele din care rezultă direct dimensiunile secțiunii necesare pentru un anumit curent. Forma secțiunii influențează capacitatea de încărcare, mai avantajoasă fiind secțiunea cu perimetrul mai mare. Astfel, secțiunea de 600 mm², realizată cu dimensiuni 100 × 6, admite o intensitate de 1 810 A, adică cu 23% mai mult decît secțiunea egală realizată cu dimensiunile 60 × 10 (1 475 A).

La realizarea barelor din mai multe secțiuni în paralel, creșterea curentului admisibil nu este proporțională cu creșterea secțiunii. Astfel, la elemente din cupru de 100 × 10 mm, la un element curentul admisibil este de 2 310 A, la două elemente — 3 610 A, adică 156%, la trei elemente — 4 650 A (201%), adică la triplarea secțiunii încărcarea admisibilă crește numai de două ori. Acest lucru se datorește scăderii suprafeței de răcire specifice.

Trebuie remarcat că, din cauza efectului pelicular și al celui de proximitate, secțiunea barelor nu este uniform încărcată, în centrul barei densitatea de curent este mai mică decît spre periferie. Pentru a utiliza în mod corespunzător materialul se folosesc uneori, fie secțiuni în dublu *U*, lipsite de miez, fie bare realizate din conductoare compuse, care se transpun (fig. 3.29).

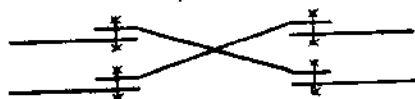


Fig. 3.29. Transpunerea barelor elementare

3.6.2. CALCULUL CĂDERII DE TENSIUNE LA BARE

În general, căderea de tensiune la bare este neglijabilă. La curenți mari însă (cum sînt cei de scurtcircuit sau cei din industria chimică sau metalurgică) căderea de tensiune, în special cea inductivă, poate fi importantă; de aceea ea se verifică întotdeauna. Valoarea ei admisibilă este de 2%.

3.6.3. CALCULUL DE REZISTENȚĂ AL BARELOR

Datorită curenților intensi care apar la scurtcircuit, barele și izolatoarele suport ale acestora trebuie verificate la solicitările electrodinamice corespunzătoare curentului de șoc. De asemenea, pentru a preveni posibilitățile de deteriorare a barelor în urma caracterului pulsator al forțelor electrodinamice, trebuie luate măsuri ca frecvența proprie de oscilație a barelor să difere de frecvențele f și $2f$ (50 și 100 Hz) cu mai mult de 10%.

În cazul scurtcircuitului, barele se prezintă ca niște grinzi cu sarcină uniform distribuită, simplu rezemate, rezemate liber la un capăt și încastrate la celălalt, sau încastrate la ambele capete. În figura 3.30 sînt reprezentate cele trei tipuri de grinzi și sînt date valorile momentului maxim; solicitarea la încovoiere se obține prin împărțire cu modulul de rezistență al secțiunii grinzii W , adică:

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W}. \quad (3-74)$$

Izolatoarele se verifică, în cazul dispoziției barelor în plan, la momentul de încovoiere $p l h$, unde h este înălțimea izolatorului.

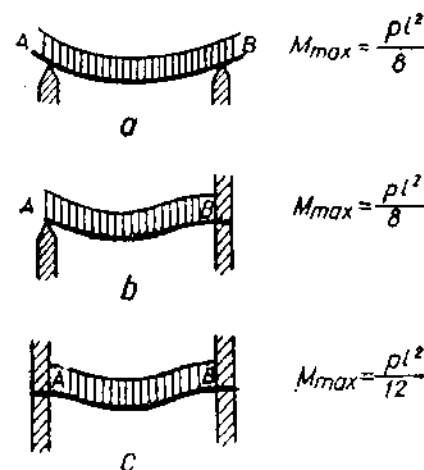


Fig. 3.30. Grindă cu sarcină uniform distribuită și cu: a — rezeme simplu; b — o încastrare și o rezemare simplă; c — dublă încastrare.

Verificarea la solicitări dinamice presupune calculul frecvenței proprii de oscilație a barelor. În acest scop, se reamintește faptul că între momentul de încovoiere și raza de curbură ρ a unei grinzii există relația:

$$\frac{M_i}{EJ} = \frac{1}{\rho}, \quad (3-75)$$

unde E și J sînt respectiv modulul de elasticitate al materialului grinzii și momentul de inerție al secțiunii barei.

Pe de altă parte, între momentul de încovoiere M_i , forța tăietoare Q și sarcina p există relațiile:

$$Q = \frac{dM_i}{dx}, \quad p = \frac{dQ}{dx} = \frac{d^2M_i}{dx^2}. \quad (3-76)$$

La studiul oscilațiilor libere, prin p se înțelege forța de inerție pe unitatea de lungime a barei, adică :

$$p = -\mu \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad (3-77)$$

unde μ este masa unității de lungime a barei, iar $\frac{d^2 y}{dt^2}$ — accelerația pe direcția pe care se produce săgeata y .

În fine, raza de curbura ρ este legată de săgeata y a barei prin relația

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2}. \quad (3-78)$$

Relațiile (3-75)...(3-78) permit stabilirea ecuației diferențiale care descrie variația în timp și spațiu a săgeții barei; y fiind funcție de două variabile, derivatele în raport cu x și t sînt derivate parțiale. Din relațiile (3-75) și (3-78) se deduce :

$$\frac{M_t}{EJ} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}; \quad (3-79)$$

derivînd de două ori relația (3-79) în raport cu x și din relația (3-77), se obține :

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\mu}{EJ} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (3-80)$$

Fenomenul fizic arată că soluția trebuie să fie o funcție periodică de timp adică :

$$y = \eta(x) \sin \omega_k t; \quad (3-81)$$

înlocuind în relația (3-80) și simplificînd, rezultă :

$$\frac{d^4 \eta}{dx^4} - \beta^4 \eta = 0, \quad \beta^4 = \frac{\mu \omega_k^2}{EJ}. \quad (3-82)$$

Ecuația (3-82) este ecuația diferențială a amplitudinilor. Încercînd o soluție de forma :

$$\eta = K e^{\lambda x}, \quad (3-83)$$

se obține ecuația caracteristică :

$$\lambda^4 - \beta^4 = 0. \quad (3-84)$$

Rădăcinile ecuației sînt :

$$\lambda = \beta \sqrt[4]{-1} = \begin{Bmatrix} \pm \beta \\ \pm j\beta \end{Bmatrix}, \quad (3-84')$$

adică :

$$\eta = A \cosh \beta x + B \sinh \beta x + C \cos \beta x + D \sin \beta x, \quad (3-85)$$

unde constantele $A \dots D$ sînt în general complexe. Ele se determină din condițiile la limită specifice fiecărui caz particular.

Pentru grinda rezemată la ambele capete, la reazeme săgeata și momentul sînt egale cu zero. Ținînd seama de relația (3-79), rezultă că pentru $x=0$ și $x=l$, $\eta=0$ și $d^2\eta/dx^2=0$. Înlocuind în relația (3-85), se obține :

$$\left. \begin{aligned} A &= C = 0 \\ B \sinh \beta l + D \sin \beta l &= 0 \\ B \sinh \beta l - D \sin \beta l &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3-86)$$

Adunînd ultimele două relații, se obține $B \sinh \beta l = 0$, adică $B=0$ (căci $\beta l \neq 0$). Înseamnă că :

$$\sin \beta l = 0 \quad (3-87)$$

($D \neq 0$, altfel η este identic nul). Rezultă $\beta l = k\pi$ sau, cu relația (3-82)

$$n_k = \frac{\omega_k}{2\pi} = \frac{k^2 \pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\mu}} \quad (3-88)$$

n_k reprezintă frecvența proprie de oscilație a barei.

În mod analog se calculează frecvența proprie de oscilație a diferitelor porțiuni de bară. În concluzie se poate arăta că frecvența proprie de oscilație a barei este dată de o relație de forma :

$$n_k = m_k^2 \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\mu}}, \quad (3-89)$$

unde $m_k = k, k + \frac{1}{4}$ sau $k + \frac{1}{2}$, după cum este vorba de grindă (porțiune de bară)

rezemată la ambele capete, rezemată la un capăt și încastrată la celălalt sau încastrată la ambele capete.

Rezultă că barele au o infinitate de frecvențe proprii de oscilație, corespunzînd valorilor $k=1,2,\dots,n$. În practică este suficient să se verifice condiția arătată la începutul paragrafului pentru armonica fundamentală ($k=1$).

3.7. FUZIBILE

Fuzibilele sau siguranțele fuzibile sînt elemente intercalate în circuitele electrice cu scopul de a proteja mașinile, transformatoarele și conductele electrice împotriva supracurenților ; la trecerea unui supracurent, fuzibilul se topește, scoțînd din circuit elementele care au produs supracurentul.

Fuzibilul are trei părți constitutive principale: firul fuzibil, învelișul și soclul.

Firul fuzibil se execută din argint, plumb, wolfram, zinc, cupru sau aliaje ale lor.

Caracteristica de topire a fuzibilului, adică curba care descrie dependența între timpul de topire și intensitatea supracurentului (fig. 3.31) este în mare măsură determinată de construcția și materialul din care acesta este construit. Aceeași rezistență electrică a fuzibilului poate fi realizată cu materiale cu conductibilitate electrică mare și de secțiune mică sau cu material cu conductibilitate electrică mai mică și de secțiune mai mare.

Primele fuzibile au capacitate calorică mică și se topesc repede, de aceea siguranțele respective sînt cu întârziere mică (curba I, fig. 3.31); cea de-a doua categorie sînt cu întârziere mare (curba II, fig. 3.31). Siguranțele cu întârziere mare se folosesc atunci cînd în circuitul protejat pot apărea curenți trecători, nepericuloși (pornirea motoarelor, transformatoarelor, conectarea lămpilor cu incandescență etc.). Folosirea unei siguranțe cu întârziere mică nu ar permite punerea sub tensiune a consumatorilor respectivi.

Posibilitatea de modificare a formei caracteristicii de topire a fuzibilului permite în principiu fabricarea unor siguranțe a căror temperatură să fie în fiecare moment proporțională cu temperatura instalației protejate, topindu-se atunci cînd temperatura în instalație depășește valoarea admisibilă. O asemenea siguranță reprezintă un model termic al instalației protejate în cazul sarcinilor variabile.

Alegerea siguranțelor se face pe baza curentului și a tensiunii. Deși tensiunea de funcționare a fuzibilelor este cea de fază, acestea trebuie să reziste la tensiunea de linie; de exemplu, în rețelele cu neutrul izolat, contactul între o fază și pămînt aduce fazele celelalte la tensiunea de linie.

După cum se vede în figura 3.31, curentul I_l — curentul limită — este curentul minim pentru care fuzibilul se topește. Avînd în vedere că valoarea lui I_l variază de la o siguranță la alta, se definește *curentul nominal al siguranței* I_n , drept curentul pentru care oricare siguranță rezistă timp îndelungat în exploatare; curentul limită este de 1,3—1,6 ori mai mare decît curentul nominal. În practică, verificarea curentului limită se face încărcînd siguranța cu un curent de $1,3 I_n$, la care siguranța nu trebuie să se topească în decurs de o oră; la curentul $1,6 I_n$, siguranța trebuie să se topească într-un timp mai scurt de o oră. Timpul de o oră este de multe ori mai mare decît constanta de timp a fuzibilului.

Siguranțele fuzibile trebuie să rezolve, în cazul general, trei probleme: stingerea arcului electric care apare imediat după topirea fuzibilului, împiedicarea apariției supratensiunilor și, la tensiuni înalte, evitarea fenomenului corona.

La topirea fuzibilului în spațiul care fusese ocupat anterior de acesta există o atmosferă de vapori metalici, prielnică întreținerii unui arc electric; pe de altă parte, la întreruperea rapidă a circuitului, energia înmagazinată în inductivitatea L a acestuia, $1/2 i^2 L$, se transformă în energie electrostatică, $1/2 u^2 C$, care

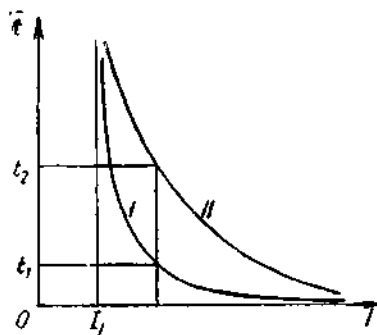


Fig. 3.31. Caracteristici de topire a fuzibilelor

apare în capacitatea C dintre capetele fuzibilului sub forma unei supratensiuni u mari, ce periclitează izolația elementelor din circuit. La topirea lentă a fuzibilului supratensiunea este limitată, căci curentul prin circuit se micșorează relativ încet.

La fuzibilele ce funcționează în rețele de tensiune înaltă, intensitatea cîmpului electric la suprafața firelor fuzibile atinge valori atît de mari încît se produce o descărcare obscură sau chiar luminoasă (fenomen corona); sub acțiunea acesteia, în mediul din jurul firului se formează ozon și acid azotic care atacă firul, modificîndu-i caracteristica sau chiar distrugîndu-l.

Fuzibilele cu substanță de umplutură au firul fuzibil așezat într-un tub închis cu capace metalice la ambele capete și umplut cu o substanță fin granulată. Materialul de umplutură are următoarele funcțiuni:

- susține firul fuzibil, astfel încît acesta nu trebuie să fie întins. Datorită substanței de umplutură, firul poate avea o lungime mai mare decît lungimea tubului;

- reduce cantitatea de aer din tub, împiedicînd oxidarea firului și micșorînd radiația;

- asigură deionizarea spațiului dintre electrozi, contribuind energic la stingerea arcului. Sub acest aspect materialele de umplutură se împart în materiale greu și ușor fuzibile.

Materialele greu fuzibile nu se topesc la topirea firului, astfel încît vaporii de metal se împrăstie printre porozitățile dintre granule, răcindu-se, ceea ce conduce la o deionizare activă. Pe de altă parte, granulele umplu fostul canal al arcului, ceea ce împiedică reaprinderea acestuia. În fine, gazele care eventual apar măresc presiunea din tub, contribuind la stingerea arcului în mod direct și pe calea rearanjării poziției granulelor în tub. Pentru a preveni crăparea tubului la presiuni mari, capacele se desprind la o anumită presiune.

În vederea limitării supratensiunii care apare la întreruperea curenților mari, unele siguranțe au două fire în paralel, cel de-al doilea avînd o rezistență de circa 30 ori mai mare decît primul. De aceea întreruperea curentului la aceste siguranțe se face în două trepte; supratensiunile care apar sînt reduse.

În România se fabrică și siguranțe cu mare putere de rupere (MPR), de 63—630 A. Acestea conțin mai multe lamele fuzibile identice în paralel, îngropate în substanță greu fuzibilă (nisip de cuarț). Siguranțele MPR se montează într-un mîner izolan, ceea ce permite manevrarea lor sub tensiune.

Substanțele de umplutură ușor fuzibile se topesc odată cu firul, devenind conductoare și asigurînd trecerea mai departe a curentului. Rezistența stratului topit șuntează arcu electric, care în acest fel nu mai poate fi întreținut și se stinge; pe de altă parte, materialul topit se răcește, solidificîndu-se, ceea ce asigură creșterea continuă a rezistenței sale, respectiv micșorarea curentului pînă la zero, supratensiunea care apare fiind astfel mult redusă.

Limitarea supratensiunilor se poate realiza folosind drept fuzibil niște benzi de lățime variabilă (fig. 3.32) sau realizînd de-a lungul firului zone cu condiții de cedare a căldurii diferite (aplicînd, de exemplu, în anumite puncte ale firului mici bucăți de plumb). La apariția supracurentului, fuzibilul începe să se topească în punctele lui slăbite, arcu apare în aceste puncte și se lungește treptat, micșorîndu-se pe această cale supratensiunile produse.

Siguranța unipolară cu filet (fig. 3.33) constă din soclul 1 prevăzut cu piesa de contact 2, în care se introduce patronul fuzibil 3, ce se strânge cu ajutorul capacului filetat 4. Soclul poate fi de tip: *LS* (cu legături în spate) pentru fixarea pe panou izolant; *LF* (cu legături în față), când se fixează pe panou metalic, sau în varianta *LFI* (cu legături în față, de tip industrial), când bornele nu sînt acoperite (soclul din fig. 3.33).

Patronul fuzibil (fig. 3.34) constă dintr-un corp de portelan 1, firul fuzibil 2 fiind introdus între capacele 5 și susținut în masa de umplutură 4 (nisip). În paralel cu firul fuzibil se găsește și un fir subțire din cupru 3 fixat de un disc de aluminiu colorat 6, numit semnalizator, aflat în centrul capacului superior și împins de un mic resort. La arderea fuzibilului se topește și firul 3, care eliberează semnalizatorul, indicîndu-se astfel faptul că fuzibilul s-a topit.

Capacul inferior al patronului are un diametru cu atît mai mare, cu cît este mai mare curentul nominal al siguranței. El intră în piesa de contact 2 (fig. 3.33) de diametru interior potrivit capacului; această precauțiune asigură imposibilitatea introducerii în soclu a unui patron de curent nominal mai mare decît cel admisibil pentru circuit (fig. 3.35).

Fuzibilele de înaltă tensiune sînt fabricate în țara noastră de către Electroputere Craiova /69/, iar cele de joasă tensiune — de către Electrobanat Timișoara și Electroaparataj București /70/.

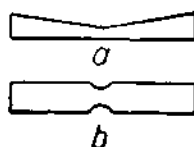


Fig. 3.32. Construcția benzilor fuzibile

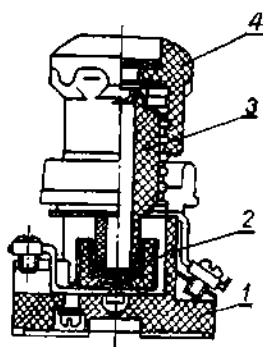


Fig. 3.33. Siguranță unipolară cu filet: 1 — soclu; 2 — piesă de contact; 3 — patron fuzibil; 4 — capac filetat

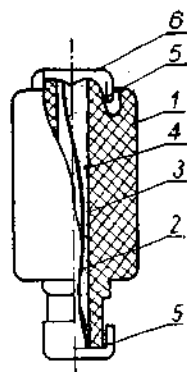


Fig. 3.34. Secțiune prin patronul siguranței unipolare cu filet: 1 — corp de portelan; 2 — fir fuzibil; 3 — fir de cupru; 4 — masă de umplutură (nisip); 5 — capac; 6 — semnalizator



Fig. 3.35. Patroane și piese de contact

3.8. ÎNTRERUPTOARE ȘI SEPARATOARE

Întreruptoarele sînt aparate care permit stabilirea și întreruperea curentului electric în circuitele electrice. Ele asigură modificarea conexiunilor circuitelor

electrice, iar în unele cazuri deschiderea circuitelor la stabilirea prin acestea a unor curenți mari, care suprasolicită termic sau electrodinamic elementele acestora.

Înteruptoarele se caracterizează prin următorii parametri principali: tensiunea și curentul nominal, curentul și puterea de rupere, curentul de închidere (conectare), timpul de deschidere propriu și total și frecvența nominală a manevrărilor. Dintre acești parametri necesită explicații următorii.

Curentul nominal de rupere I_{nr} este curentul maxim pe care aparatul poate să-l întrerupă în mod sigur la o tensiune egală cu tensiunea nominală U_n pentru întrerupător.

Puterea nominală de rupere se definește sub forma produsului:

$$S_{nr} = \sqrt{3} U_n I_{nr}. \quad (3-90)$$

Puterea de rupere este o noțiune convențională; ea se consideră drept o caracteristică a aparatului de întrerupere. De aceea, în anumite limite, curentul de rupere admisibil la funcționarea întrerupătorului într-o rețea de tensiune $U < U_n$ se poate calcula cu relația:

$$I_r = I_{nr} \frac{U_n}{U}. \quad (3-91)$$

Această recalculare se admite pînă la valoarea curentului de rupere maxim pentru întrerupătorul dat, prescrisă de către fabrica constructoare.

Curentul de rupere este valoarea intensității în momentul în care începe îndepărtarea contactelor întrerupătorului; pentru calculul lui, evident, este necesar să se cunoască *timpul de deschidere total*, adică timpul care trece din momentul scurtcircuitului pînă în momentul începerii deschiderii contactelor. Acest timp se compune din *timpul de deschidere propriu* al întrerupătorului (0,1...0,15 s pentru întreruptoarele cu acțiune normală și 0,05 s pentru cele ultrarapide) și *timpul de acționare a releelor de protecție*, de ordinul a 0,05 s.

Curentul nominal de conectare este curentul maxim la care întrerupătorul poate să conecteze la tensiunea nominală, fără să se producă sudarea contactelor sau alte defecțiuni. Acest parametru este foarte important pentru întreruptoarele destinate reanclanșărilor (conectărilor automate, RAR).

Datorită funcțiunilor sale, întrerupătorul este un element de mare răspundere, utilizat în instalațiile electrice de toate tipurile. De aceea, astăzi se folosesc tipuri foarte variate de întreruptoare, care pot fi clasificate din diferite puncte de vedere. Astfel, după modul de funcționare și acționare se deosebesc întreruptoare neautomate (care acționează conform unei comenzi voite din afară) și întreruptoare automate (a căror acționare este determinată de realizarea în circuit a unor condiții prevăzute — supracurenți ce depășesc o anumită intensitate, scăderea tensiunii sub o anumită limită etc.). După capacitatea de rupere, se deosebesc întreruptoare de sarcină (care stabilesc și întrerup curenți de intensitate comparabilă cu cea nominală), întreruptoare de motor (care acționează sub curenți de 6—8 ori curenții nominali, adică corespunzători intensităților la pornire) și întreruptoare de putere (care pot acționa sub curenți de scurtcircuit mari, de 2...40 kA). După tensiunea nominală, se deosebesc

întreruptoare de joasă și înaltă tensiune, limita fiind considerată 1 000 V în curent alternativ și 1 200 V în curent continuu. În fine, după mediul de stingere a arcului, întreruptoarele se clasifică în întreruptoare cu ulei mult sau ulei puțin, cu apă, pneumatice, cu suflaj etc.

Problema principală pe care o rezolvă întreruptoarele este cea a stingerii arcului electric care apare la întreruperea circuitului electric. De aceea, întreruptoarele se studiază în funcție de mediul de stingere, care determină construcția și modul de funcționare a întreruptorului.

În țara noastră întreruptoarele de înaltă tensiune utilizate în mod curent (cu ulei puțin, v. par. 3.8.2), precum și separatoarele sînt fabricate de Uzinele Electroputere Craiova /69/.

3.8.1. INTRERUPTOARE CU ULEI MULT

Forma cea mai simplă de întreruptor cu ulei mult este reprezentată în figura 3.36. Asemenea întreruptoare se caracterizează prin așa-numita rupere simplă a arcului.

Întreruptorul cu ulei mult are fie o cuvă din oțel comună pentru toate trei fazele, fie cîte o cuvă pentru fiecare fază; în cuvă se găsește ulei pînă la un nivel dat. Pe fiecare fază se găsesc de obicei două puncte de întrerupere. În timpul deplasării în jos a traversei cu contacte mobile se produc două arcuri care determină formarea unor bule de gaze provenite din descompunerea uleiului sub acțiunea temperaturii ridicate. Bulele ce înconjoară arcul conțin circa 70% hidrogen, mediu foarte activ pentru stingerea arcului, datorită conductibilității termice ridicate și temperaturii de disociere relativ coborîte care îl caracterizează. Datorită forțelor electrodinamice care se manifestă între cele două arcuri, acestea se resping, venind în contact cu pereții bulelor și provocînd o dezvoltare violentă de gaze și mișcarea puternică a acestora, ceea ce activează deionizarea. Toate aceste fenomene contribuie activ la stingerea arcului.

Volumul de aer din cuvă este absolut necesar; cu cît volumul de aer este mai mare, cu atît acțiunea lui ca tampon este mai eficace și deci presiunea aplicată pereților cuvei este mai redusă. Dacă însă nivelul de ulei este prea coborît, bulele de gaz fierbinți pot ieși la suprafață, provocînd explozia întreruptorului la contactul cu oxigenul din aer.

Timpul de rupere al unui asemenea întreruptor este destul de lung din cauză că gazele din bule se găsesc într-o stare relativ calmă. Pentru a scurta timpul de rupere este necesar să se ia măsuri pentru ca uleiul să vină în contact cît mai întîm cu coloana arcului. În acest scop, întreruptoarele cu ulei mult se prevăd cu camere de stingere, care înconjoară locul de producere a arcului (figura 3.37). La deschiderea întreruptorului, contactul mobil 3 se îndepărtează de cel fix 1,

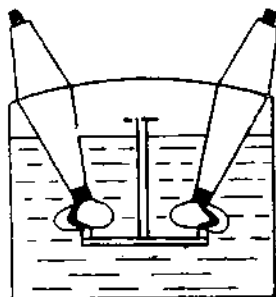


Fig. 3.36. Schema întreruptorului cu ulei mult

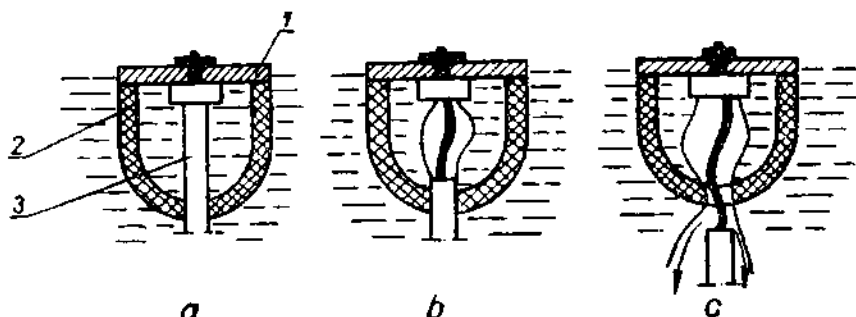


Fig. 3.37. Principiul de funcționare a camerelor de stingere

În camera de stingere 2 luînd naștere o presiune foarte mare; la ieșirea contactului mobil din camera de stingere arcul este supus unui suflaj intens datorat curentului de gaze, de vapori de ulei și de ulei lichid. Camerele de stingere, datorită volumului lor redus, pot rezista ușor unor presiuni mult mai mari decît cuva; ele asigură scurtarea apreciabilă a duratei de ardere a arcului și a cursei contactelor față de ruperea simplă în ulei.

Figura 3.38 prezintă schema camerelor de stingere cu două arcuri. În stare închisă, contactele 1, 2 și 3 se ating. La deschiderea întreruptorului contactele 2 și 3 se deplasează împreună la început, astfel încît arcul electric care apare în spațiul, numit spațiu generator, dintre contactele 1 și 2 conduce la creșterea presiunii din camera 4. La oprirea contactului intermediar 2 apare al doilea arc în spațiul de stingere dintre contactele 2 și 3, în serie cu primul arc; sub presiunea deja existentă a gazelor din cameră, uleiul suflă arcul, îl lungeste, îl divizează și îl răcește, asigurînd stingerea rapidă a acestuia. Denumirea de suflaj longitudinal și suflaj transversal rezultă din unghiul pe care-l face direcția principală de scurgere a uleiului din cameră în coloana arcului; în general, suflajul transversal este mai eficace decît cel longitudinal.

În figura 3.39 este prezentată camera de stingere cu fantă îngustă (grătar deion). Această cameră este constituită din pachete de plăci izolate care îmbracă

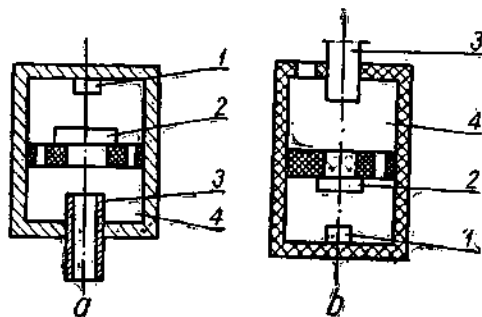


Fig. 3.38. Camere de stingere cu două arcuri: a — cu suflaj longitudinal; b — cu suflaj transversal.

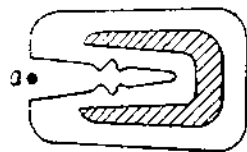


Fig. 3.39. Camera de stingere cu fantă îngustă (grătar deion)

fiecare o placă din oțel în formă de potcoavă. Arcul electric *a*, ale cărui linii de câmp magnetic se închid prin plăcile de oțel, este atras în interiorul camerei. Uleiul care se află în cameră se opune înaintării arcului; gazele care se formează resping arc, pătrund prin el despicându-l în fibre care se răcesc ușor, deionizându-se, ceea ce asigură stingerea rapidă a arcului electric.

3.8.2. INTRERUPTOARE CU ULEI PUȚIN

Întreruptoarele cu ulei puțin au apărut ca urmare a cercetărilor duse în direcția reducerii volumului de ulei și prin aceasta a micșorării pericolului de explozie și incendiu din timpul deconectărilor. Aceste întreruptoare folosesc uleiul drept lichid pentru stingerea arcului; funcția de izolan electric pe care o are uleiul la întreruptoarele cu ulei mult este preluată de un dielectric solid (porțelan, steatit, bachelită). Ca urmare volumul de ulei se reduce de zeci de ori.

Schema unui întreruptor cu ulei puțin este redată în figura 3.40. În stare închisă, curentul electric trece prin întreruptor pe două căi în paralel, formate din contactele principale 4 și 5, respectiv contactele de stingere 2 și 3. La deschiderea întreruptorului tija 1 se ridică; construcția este astfel concepută încât la început se deschid contactele principale 4 și 5, fără arc electric, întrucât contactele 2 și 3 nu s-au deschis încă. Puțin mai târziu se deschid și contactele 2 și 3, arc electric format stingându-se prin suflajul transversal în spațiul 6. Se recunoaște în aceste spații construcția asemănătoare celei a camerelor de stingere de la întreruptoarele cu ulei mult.

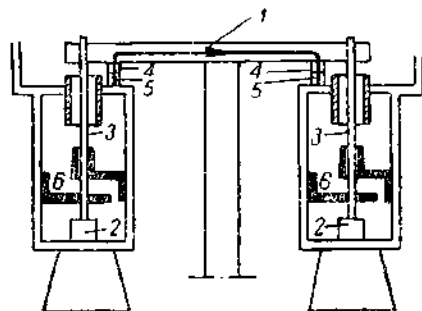


Fig. 3.40. Schema unui întreruptor cu ulei puțin

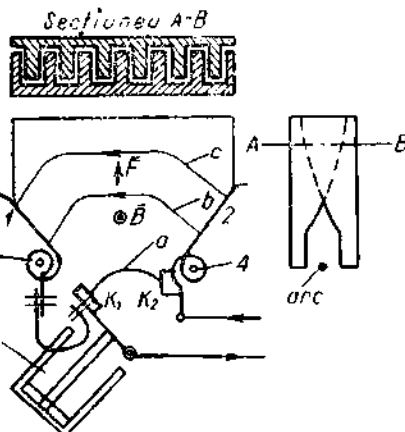


Fig. 3.41. Principiul întreruptoarelor electromagnetice

3.8.3. INTRERUPTOARE ELECTRO-MAGNETICE

La întreruptoarele electromagnetice stingerea arcului este asigurată prin alungirea lui sub acțiunea unui câmp magnetic. Pentru a asigura stingerea rapidă a arcului, suflarea electromagnetică se combină cu o deionizare activă.

Deionizarea se realizează cu ajutorul unor fante înguste din material ceramic

sau, în general, din materiale care nu se descompun sub acțiunea arcului, dispozitivele de stingere funcționând astfel aproape fără uzură.

Principiul de funcționare a întreruptoarelor electromagnetice este prezentat în figura 3.41. Arcul electric a care arde, în primul moment după deschidere, între contactele principale K_1 și K_2 , trece apoi pe coarnele de stingere 1 și 2; sub acțiunea suflajului magnetic realizat prin bobinele 3 și 4, care au fost introduse în circuit, arcul este împins în sus în fanta îngustă dintre pereții camerei de stingere. Acești pereți au proeminențe în formă de dinți care cresc treptat, ceea ce face ca arcul să capete o formă în zig-zag, mărindu-i-se mai mult lungimea. Răcirea puternică a arcului, datorită pereților izolanți între care pătrunde, determină o intensă deionizare, creindu-se condiții favorabile pentru stingerea arcului. Pentru a asigura stingerea arcului la curenți mici, întreruptorul este prevăzut cu un dispozitiv auxiliar de suflaj cu aer, format dintr-un cilindru cu piston 5.

În afară de sistemele de contacte și de dispozitivele de stingere a arcului electric, întreruptoarele trebuie să fie prevăzute cu diferite mecanisme auxiliare, dintre care cele mai importante sînt următoarele.

Mecanismul de acționare care furnizează energia necesară armării resorturilor de deschidere, atingerii vitezei prescrise pentru părțile mobile, precum și pentru învingerea frecărilor în cursul conectării.

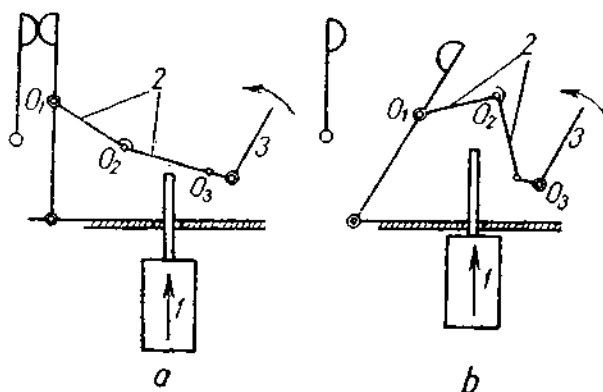


Fig. 3.42. Principiul acționării manuale directe și al dispozitivului de liberă deschidere

Acționarea poate fi *directă* atunci când energia este produsă simultan cu consumarea ei (acționare manuală, cu electromagnet sau cu electromotor), sau *indirectă*, dacă energia este înmagazinată în prealabil sub formă potențială într-un resort, volant sau într-un volum de aer comprimat. Acționarea directă necesită o putere relativ mare, de aceea ea se folosește la întreruptoare mici; acționarea indirectă, utilizată la întreruptoarele mari, prezintă avantajul de a permite înmagazinarea energiei într-un timp mai lung, deci cu putere mică.

Mecanismul de liberă deschidere a dispozitivului de acționare, permite decuplarea pieselor mobile ale întreruptorului de piesele mobile ale dispozitivelor de acționare. În acest fel, dacă, de exemplu, se execută manevra de închidere a întreruptorului peste un scurtcircuit, întreruptorul va putea fi declanșat de către elementele de protecție fără a afecta dispozitivul de acționare. În lipsa mecanismului de liberă deschidere, în cazul descris ar exista două acțiuni contrare (deschiderea și închiderea întreruptorului), ceea ce ar duce la deteriorarea mecanismelor aparatului.

Figura 3.42 prezintă principiul mecanismelor de liberă deschidere; figura 3.42, *a*, reprezintă mecanismul când întreruptorul este închis; în figura 3.42, *b* s-a încercat închiderea pentru un scurtcircuit existent. Datorită scurtcircuitului armătura electromagnetului 1 este atrasă, cele două pîrghii 2 sînt ușor rotite, ceea ce permite continuarea funcționării mecanismului de acționare (rotirea pîrghiei 3 în sens invers acelor de ceasornic) fără a determina închiderea contactelor. Închiderea (fig. 3.42, *a*) este posibilă pentru că, în acest caz, axa O_2 este așezată sub dreapta care unește axele O_1 și O_3 și deci cele două piese 2 se comportă ca și cum ar fi o singură piesă. De altfel, armătura 1 este elementul de execuție al declanșatorului întreruptorului.

Dispozitivul de blocare este mecanismul care servește la împiedicarea unor acționări interzise. Asemenea acționări ar duce la producerea unor avarii și deranjamente grave.

Dispozitivele de blocare sînt de construcție mecanică, electromagnetică sau pneumatică. Principiul lor este ilustrat de dispozitivul de blocare cu broască mecanică și cheie. Dispozitivele de acționare a întreruptoarelor și separatoarelor sînt prevăzute cu broaște avînd toate același tip de cheie. Pentru toate broaștele se păstrează o singură cheie. În acest fel se poate acționa la un moment dat numai întreruptorul (separatorul) în a cărui broască este introdusă cheia.

Circuitul de semnalizare semnalizează prin aprinderea unei lămpi roșii sau verzi, starea de închis sau deschis a întreruptorului (separatorului).

3.8.4. INTRERUPTARE DE JOASĂ TENSIUNE

În circuitele de joasă tensiune (sub 500 V), conectarea și deconectarea se realizează de preferință cu aparate cu întreruperea în aer (mai rar în ulei), atît pentru curent alternativ, cît și pentru curent continuu.

3.8.4.1. Întreruptorul cu pîrghie este cel mai simplu aparat de conectare de joasă tensiune; el se execută mono-, bi- sau tripolar; capetele mobile ale cuțitelor sînt legate între ele printr-o traversă izolatoare comună, de care se fixează pîrghia de acționare (fig. 3.43). Legarea la contactele fixe (furci) se face mai ales prin contacte plane și liniare (fig. 3.23). Din considerente de tehnică securității și pentru a feri contactele de praf, întreruptorul se așază într-o carcasă izolantă sau metalică legată la pămînt. Acționarea întreruptorului cu pîrghie se realizează manual; el poate fi așezat în fața sau în spatele tabloului, acționarea în acest caz realizîndu-se prin intermediul unui tirant.

3.8.4.2. Întreruptoare și comutatoare de mică putere. Dacă întreruptorul închide sau deschide unul sau mai multe circuite de sarcină, comutatorul este aparatul destinat a înlocui o porțiune de circuit cu alta sau a modifica succesiv conexiunile unui sau mai multor circuite.

Întreruptoarele și comutatoarele de mică putere sînt utilizate pentru acționarea circuitelor de lumină, la aparate electrocasnice, electromedicale și porta-

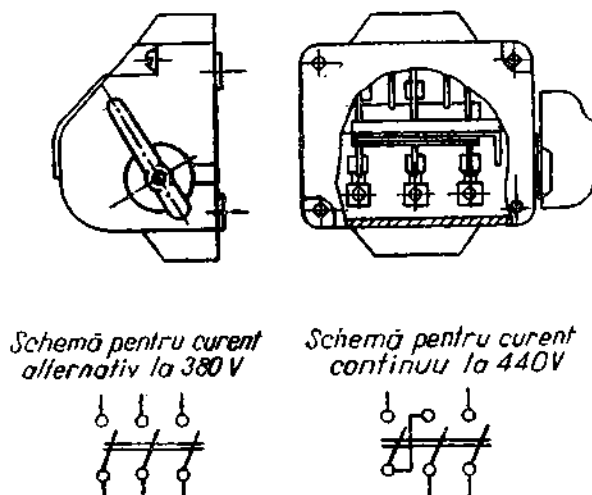


Fig. 3.43. Schema întreruptorului cu pîrghie

tive de atelier, precum și la motoarele electrice mici. Contactele electrice ale acestor aparate sînt elastice, pentru a se asigura forța de apăsare necesară; stingerea arcului electric la deschidere se realizează prin îndepărtarea rapidă a contactelor mobile de cele fixe. În acest scop, la acționarea manuală se armează un resort, deplasarea contactelor mobile începe abia în momentul în care resortul a obținut o anumită săgeată; acest lucru asigură realizarea unei viteze de deschidere determinată de resort, deci independentă de viteza de acționare.

Întreruptoarele și comutatoarele de mică putere pot fi clasificate din diferite puncte de vedere, după numărul polilor (uni-, bi- și tripolare), după felul de instalare (aparente, îngropate, portative), după felul acționării (rotative, basculante, cu buton, cu lanț), după protecția mecanică (normale, impermeabile, capsulate), după tensiunea nominală (250, 380, 500 V), după intensitatea nominală (2,4,6, 10,25,60 A), după conexiunea realizată (fig. 3.44) etc.

3.8.4.3. Întreruptoare și comutatoare pachet. Acestea sînt aparate de conectare acționate manual și construite prin înșiruirea pe același ax a unui număr oarecare de elemente (pachete) identice, fiecare element reprezentînd o cale de curent. Fiecare pachet este realizat dintr-un disc izolator, pe care sînt montate contactele fixe; contactele mobile sînt fixate de axul central, rotindu-se odată cu acesta. Între maneta de acționare și axul pachetelor este montat un dispozitiv

**SCHEME DE CONEXIUNI
ALE APARATELOR DE ÎNTRERUPERE PENTRU INSTALAȚII INTERIOARE DE JOASĂ TENSIUNE**

Denumire	Simbol	Schema legături		Schema monofilară		Schema multifilară	
		basculant	rotativ	în linie	terminal	în linie	terminal
Întrerupător monopolar							
Întrerupător bipolar ^{a)}							
Întrerupător tripolar							
Comutator cu întrerupere în grup							
Comutator cu întrerupere în serie							
Comutator de scară							
Comutator cruce							

^{a)} Este folosit în instalațiile cu pericol de explozie sau distribuție cu nulul izolat când se întrerupe atât nulul cât și faza.

Fig. 3.44. Scheme de conexiuni realizabile cu aparataj de mică putere

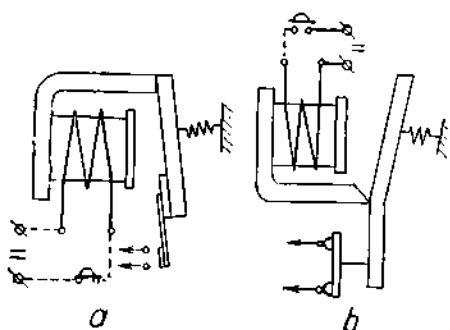


Fig. 3.45. Principiul de funcționare a contactorului — a și ruptorului — b.

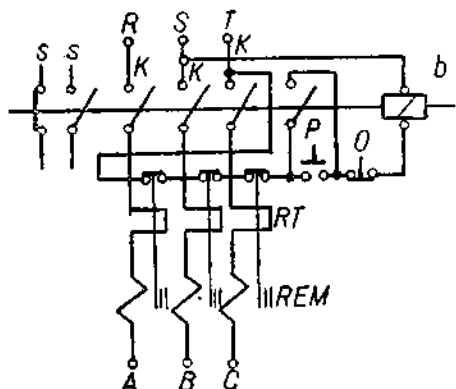


Fig. 3.46. Schema de principiu a demarorului magnetic

Pentru a îmbunătăți condițiile de stingere a arcului electric și a preîntîmpina scurtcircuitarea prin arc a contactelor de pe cele trei faze, deasupra fiecărei perechi de contacte se montează cîte o cameră de stingere, executată din azbociment. Adesea, pentru suflarea arcului, se folosește cîte o bobină legată în serie cu circuitul principal.

Contactoarele trifazate de curent alternativ, prevăzute cu relee termice pentru deconectarea automată a motoarelor în caz de suprasarcină de durată și eventual cu relee electromagnetice pentru deconectarea automată în caz de scurtcircuit*, se numesc demaroare (pornitoare) magnetice. Schema de principiu a unui demaror magnetic este prezentată în figura 3.46. La apăsarea butonului de pornire P, bobina b este excitată și demarorul își închide contactele principale K; simultan

de sacadare prevăzut cu un resort, care asigură ruperea arcului în același mod ca și la întreruptoarele de mică putere.

Întreruptoarele pachet asigură o rupere dublă a arcului; pot acționa în orice poziție, sînt rezistente la vibrații și șocuri; pot fi introduse în carcase de protecție (contra prafului, apei, antigri-zutoase etc.). Alegînd în mod potrivit numărul de pachete și conexiunea lor, se pot realiza scheme de comutare foarte variate cu ajutorul unui aparat simplu, de gabarit redus și robust. De aceea, întreruptoarele pachet se folosesc mult în industrie pentru comanda circuitelor mașinilor-unelte, pe panouri, pupitre de comandă etc.

3.8.4.4. Contactoare și ruptoare. Contactoarele sînt întreruptoare de joasă tensiune care îndeplinesc comanda de la distanță de închidere a unui circuit electric. Comanda se dă prin închiderea circuitului unui electromagnet, care, atrăgîndu-și armătura, face să se închidă contactele contactorului. Bobina poate fi alimentată în curent continuu sau alternativ.

Ruptoarele sînt întreruptoare care deschid circuitul la primirea unei comenzi de la distanță; în principiu ele sînt identice cu contactoarele. Figura 3.45 prezintă schemele de principiu ale contactorului și ruptorului.

* Amănunte asupra releelor se dau în subcap. 3.9.

se închide și contactul de autoreținere a , care scurtcircuitază butonul P , astfel încât bobina 7 rămâne alimentată și după încetarea apăsării butonului P . În această situație, utilajul conectat la bornele ABC este alimentat de la rețeaua RST . Pentru întreruperea alimentării se apasă pe butonul de oprire O , ceea ce duce la deconectarea bobinei b și la deschiderea contactelor K sub acțiunea unui resort. În caz de avarie, relele termice RT sau cele electromagnetice REM își deschid contactele, deconectarea aparatului având loc în același fel ca și la apăsarea pe butonul O . Contactele suplimentare s servesc pentru semnalizarea optică a poziției închis-deschis a demarorului sau pentru alte comenzi. Se observă că demarorul posedă și o protecție împotriva scăderii tensiunii, materializată prin bobina b , care la micșorarea tensiunii sub o anumită limită nu-și mai poate reține atrasă armătura și deci demarorul se declanșează.

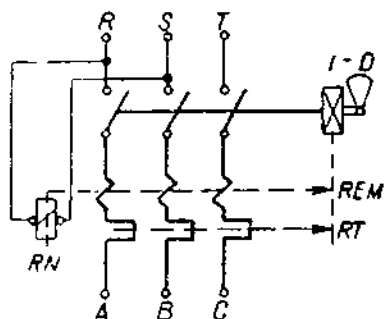


Fig. 3.47. Schema de principiu a întreruptorului automat

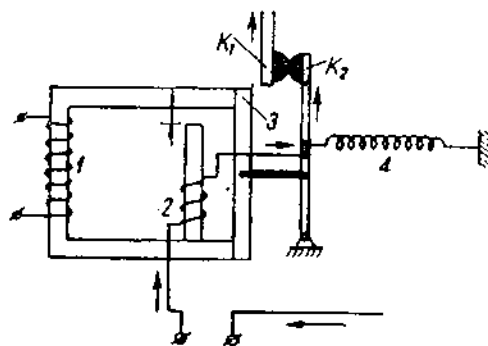


Fig. 3.48. Schema de principiu a întreruptorului rapid de curent continuu

3.8.4.5. Întreruptoare automate. Întreruptoarele automate sînt întreruptoare prevăzute cu rele de protecție termică, electromagnetică și de tensiune nulă. În principiu, ele se deosebesc de demarourile electromagnetice prin aceea că închiderea și deschiderea voită a circuitului se realizează prin acțiune manuală.

Figura 3.47 prezintă schema de principiu a unui întreruptor automat. Închiderea și deschiderea voită a întreruptorului se realizează cu ajutorul prîghiei $I-D$; cele trei tipuri de protecție acționează asupra mecanismului de liberă deschidere.

Durata de funcționare a unui automat se compune din timpul propriu de acționare și durata de stingere a arcului. La automatele obișnuite timpul propriu de acționare este destul de mare, de ordinul $0,2-0,5$ s. Timpul total de deconectare este deci de $0,25-0,55$ s, ceea ce reprezintă o valoare prea mare pentru protecția instalațiilor cum sînt cele de curent continuu (de exemplu la protecția instalațiilor cu redresoare cu mercur). Pentru asemenea instalații se utilizează întreruptoare automate cu acțiune rapidă. Aceste automate se caracterizează printr-un timp propriu de acționare foarte scurt, cuprins între $0,01$ și $0,02$ s. Principiul de funcționare a acestui tip de întreruptor este ilustrat în

figura 3.48. Contactele K_1 și K_2 sînt menținute închise datorită fluxului magnetic produs de curentul ce trece prin bobina 1; la apariția unui scurtcircuit bobina 2, conectată în serie cu circuitul principal, produce un flux magnetic ce se opune — în armătura 3 — fluxului bobinei 1; de aceea, la un moment dat contactele se deschid sub acțiunea resortului 4. Durata scurtă a acționării, în cazul acestui întreruptor, se explică prin aceea că cele două fluxuri variază practic independent, întrucît cuplajul magnetic al celor două bobine este foarte mic.

3.8.4.6. Întreruptoare (comutatoare) stea-triunghi. Acest tip de întreruptoare permite conectarea celor trei faze ale unui motor asincron în stea sau în triunghi, în vederea ușurării condițiilor de pornire. Pentru a se realiza sub o formă com-

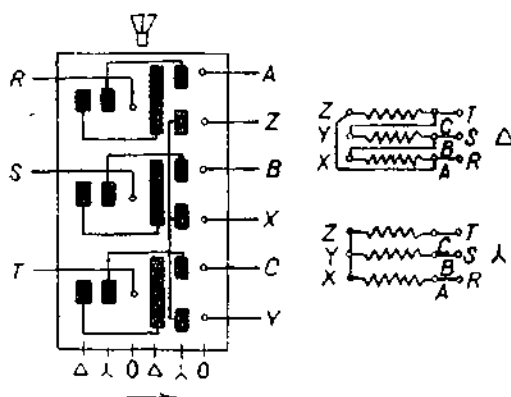


Fig. 3.49. Schema comutatorului stea-triunghi manual.

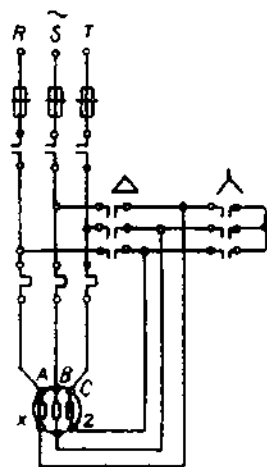


Fig. 3.50. Schema de principiu a comutatorului stea-triunghi automat

pactă și ușor de manevrat, comutatoarele stea-triunghi se execută sub formă de controlere; o parte din contacte se găsesc dispuse pe periferia unui stator, iar altele pe periferia unui rotor; la rotirea rotorului, contactele rotorice execută diferite conexiuni între contactele statorice.

În figura 3.49 este prezentată schema desfășurată a comutatorului stea-triunghi manual; bornele notate cu cercuri sînt plasate pe stator, cele cu dreptunghiuri — pe rotor. Bornele ABC , respectiv XYZ se conectează la începuturile, respectiv la sfîrșiturile celor trei faze ale motorului, bornele RST — la fazele rețelei de alimentare. În poziția desenată, legătura între rețea și motor este întreruptă; la deplasarea rotorului cu un pas spre dreapta se realizează conectarea motorului în stea, iar la deplasarea cu încă un pas — în triunghi; încă un pas conduce la deconectarea din nou a motorului de la rețea. Manevrarea nu este posibilă decît în ordinea zero — stea — triunghi — zero.

În figura 3.50 este prezentată schema unui comutator stea-triunghi automat; acesta constă din două contactoare, dintre care unul asigură conectarea

fazelor în stea, celălalt — în triunghi. Comanda de trecere de la conexiunea stea la conexiunea triunghi se poate regla între 2 și 20 s, în raport cu regimul de pornire a motorului.

3.8.5. SEPARATOARE

Separatoarele sînt aparate de manevră care servesc la conectarea sau deconectarea unor porțiuni de circuit care se află sub tensiune, dar nu sînt parcurse de curent. Separatoarele realizează o izolare sigură și vizibilă a aparatelor, mașinilor și a unor porțiuni de circuit față de elementele sub tensiune și de asemenea asigură executarea unor comenzi și manevre în timpul cît circuitul nu se află sub sarcină. În figura 3.51 se reprezintă cazul unui sistem de bare duble, la care sursa debitează asupra sistemului I, iar sistemul II este lipsit de tensiune datorită conectării corespunzătoare a separatoarelor. Figura 3.52 arată un separator care în poziție deschis leagă linia la pămînt.

Un separator poate fi manevrat și sub sarcină, dacă are conectat în paralel un circuit cu impedanță mică, astfel încît tensiunea între contacte înainte, respectiv după conectare să fie mică.

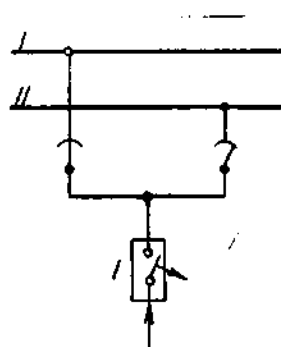


Fig. 3.51. Sistem de bare duble alimentate prin întreruptor și separator

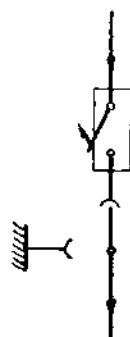


Fig. 3.52. Separator cu cuțit de legare la pământ

Ținînd seama de cele arătate mai sus, se vede că separatoarele au o construcție asemănătoare cu cea a întreruptoarelor, cu deosebirea că sînt mult mai simple, întrucît le lipsesc dispozitivele de stingere a arcului electric. Separatoarele au forma unor întreruptoare cu prăghie, dimensiunile și izolația lor depinzînd de tensiunea circuitului pentru care au fost destinate.

Separatoarele se clasifică în separatoare de tip interior și separatoare de tip exterior. Figura 3.53 reprezintă un separator monopolar pentru instalații interioare; acționarea sa se face cu ajutorul unei bare (prăjini) izolante prin intermediul unui cîrlig. Contactele sînt plane sau liniare.

Separatoarele de tip exterior se deosebesc de cele de tip interior prin dimensiunile lor mai mari. Condițiile de lucru ale acestor separatoare sînt grele, mai ales iarna, datorită stratului gros de gheață care adesea se depune pe contacte. Figura 3.54 prezintă principiul unui separator de tip exterior, a cărui deschidere se realizează rotind pîrghia 3 în jurul axei O_2O_2 conform săgeții. Mișcarea se transmite prin articulație cadrului 2. La început, cadrul rotește cuțitul 1 al separatorului în jurul axei sale O_1O_1 , ceea ce determină spargerea stratului de gheață depus pe contacte; rotirea în continuare a pîrghiei 3 determină deplasarea

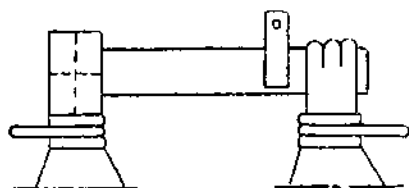


Fig. 3.53. Schema unui separator de tip interior

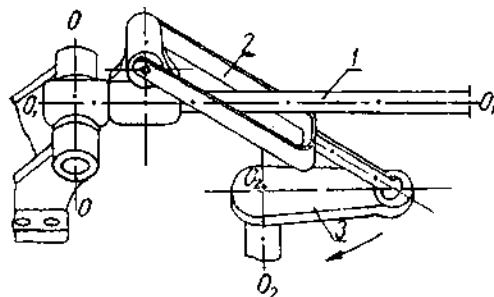


Fig. 3.54. Schema mecanismului la separatorul de tip exterior

cadrului 2 de-a lungul cuțitului 1, de aceea cuțitul basculează în jurul axei OO și separatorul se deschide.

Cu scopul de a preîntîmpina manevrele greșite, adesea separatoarele și întreruptoarele sînt interblocate; în acest fel, se evită acționarea separatorului dacă întreruptorul cu care este conectat în serie este în poziție închis.

3.9. RELEE ȘI DECLANȘATOARE

Releele sînt aparate electrice care, primind anumite comenzi pe cale electrică, transmit comenzi corespunzătoare tot pe cale electrică. Astfel, de exemplu, în schema din figura 3.46, elementele RT și REM sînt relee, pentru că la creșterea intensității curentului care le parcurge dau comandă în circuitul bobinei b .

Spre deosebire de relee, declanșatoarele primesc comanda electrică și dau mai departe comandă mecanică. Folosirea lor este, în general, restrînsă la comanda întreruptoarelor automate sau contactoarelor; un exemplu de declanșator este bobina b din figura 3.46.

Atît declanșatoarele cît și releele pot fi acționate de orice schimbare a unei mărimi electrice: curent, tensiune, putere, sensul trecerii energiei, impedanță etc., ceea ce permite clasificarea lor din acest punct de vedere. Întrucît declanșatoarele au de săvîrșit o acțiune mai grea, ele se construiesc, în general, numai

pentru supracurenți sau reducere a tensiunii, rămânând în sarcina releelor acționarea la comenzi mai complicate sau relativ mai slabe.

Dacă declanșatorul sau releul este intercalat direct în circuitul principal, el este denumit *primar*; dacă însă el este comandat de o mărime proporțională cu valoarea din circuitul principal — obținută de obicei printr-un transformator de măsură — declanșatorul sau releul se numește *secundar*. Curentul din circuitul auxiliar comandat de un releu poate fi continuu sau alternativ: curentul continuu se obține de la o baterie de acumulatori sau prin redresare; curentul alternativ — din circuitul principal prin transformare. În ultimul caz, circuitul auxiliar nu este independent de cel principal, ceea ce poate reduce siguranța de funcționare. Astfel, dacă este vorba de întreruperea unui scurtcircuit, întreruptorul poate să nu funcționeze dacă tensiunea circuitului auxiliar scade mult odată cu tensiunea rețelei.

Releele se pot clasifica în rele cu contacte de lucru (normal deschise), care dau comanda prin închiderea contactelor, și rele cu contacte de repaus (normal închise), care dau comanda prin deschiderea contactelor.

În figura 3.55 sînt date cîteva exemple de scheme simple cu rele și declanșatoare pentru întreruperea unui circuit în cazul supracurenților. Astfel, în figura 3.55, *a* este prezentat un declanșator primar, figura 3.55, *b* reprezintă un declanșator secundar, figura 3.55, *c* reprezintă un declanșator comandat de un rele primar cu contacte de lucru, figura 3.55, *d* — un declanșator comandat de un rele secundar cu contacte de lucru, figura 3.55, *e* — un declanșator comandat de un rele secundar cu contacte de repaus.

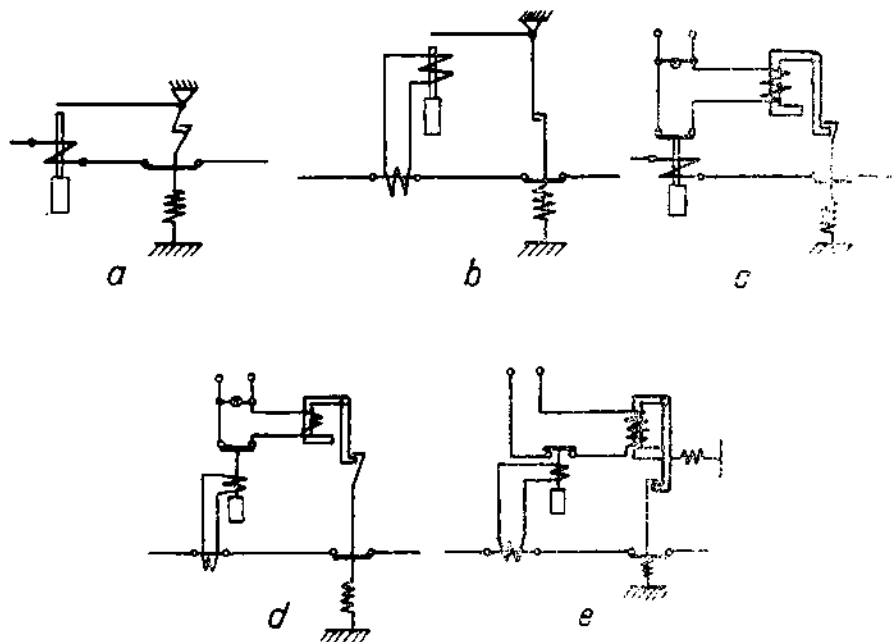


Fig. 3.55. Scheme cu rele și declanșatoare

Pentru comparația diferitelor scheme se aleg cele două cazuri extreme, cel al declanșatorului primar și al declanșatorului comandat de un releu secundar. Declanșatorul primar este simplu, nu necesită transformatoare de măsură, poate fi aplicat direct pe izolatorul de trecere al întreruptorului; trebuie însă dimensionat pentru tensiunea primară și curentul de scurtcircuit, este expus trepidațiilor care provin de la întreruptor, din care cauză construcția trebuie să fie robustă, iar precizia suferă, nu este accesibil și deci nu poate fi reglat în timpul funcționării din cauza tensiunii ridicate, stă în calea undelor de supratensiune pe care le reflectă, ceea ce este periculos atât pentru bobina proprie, cât și pentru întreaga instalație.

Releele secundare sînt foarte sensibile, precise, nu sînt supuse unor suprasolicitări prea mari electrice sau mecanice, sînt accesibile și deci reglabile în cursul funcționării; în schimb, sînt scumpe, necesită transformatoare de măsură și sursă de energie auxiliară.

Din aceste motive, soluția a doua este folosită acolo unde cheltuielile suplimentare sînt justificate prin economiile ce rezultă din asigurarea unei siguranțe mărite în funcționare.

Contactele de lucru la relele prezintă avantajul că, în mod normal, circuitul în care acestea sînt intercalate nu consumă energie, în schimb nu există posibilitatea controlului dacă circuitul nu are întreruperi. În cazul contactelor de repaus, trecerea continuă a curentului prin ele, pe lângă consumul de energie corespunzător, conduce și la distrugerea treptată a lor datorită scînteilor sau chiar sudării contactelor care apare în urma trepidațiilor ce au loc în mod inevitabil la locul de montare a releelor. În afară de aceasta, o eventuală întrerupere în circuitul comandat duce la declanșarea falsă a circuitului principal. Din aceste cauze pentru circuite de acționare se preferă contactele de lucru, iar pentru circuitele de semnalizare — contactele de repaus. Pentru remedierea inconvenientului semnalat în cazul contactelor de lucru, privitor la lipsa de control a continuității circuitului, chiar înaintea declanșatorului în circuitul auxiliar se pot introduce lămpi de semnalizare, a căror ardere indică buna stare a acestuia (fig. 3.55. c,d).

La protecția împotriva supracurenților în circuitele trifazate, numărul releelor sau al declanșatoarelor este de trei. Acest număr este absolut necesar la sistemele de joasă tensiune cu conductor neutru. La sistemele cu neutru izolat sînt suficiente declanșatoare sau relele numai pe două faze, întrucît curenții de scurtcircuit se închid întotdeauna pe cel puțin două faze. Montarea protecției pe toate cele trei faze, chiar și în sistemele cu neutru izolat,

asa cum s-a făcut în schemele din figurile 3.46 și 3.47, conduce la creșterea siguranței în funcționare, întrucît se creează o rezervă de 50%.

Pentru a corespunde cerințelor exploataării, relele și declanșatoarele trebuie să satisfacă următoarele condiții:

— să funcționeze precis, adică timpul și curentul de acționare să se abată puțin de la valorile reglate (fig. 3.56);

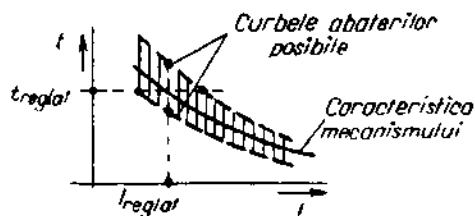


Fig. 3.56. Precizia mecanismelor de funcționare

— să fie insensibile la factorii secundari (forma curbei curentului, frecvență, temperatura ambiantă etc.);

— să fie robuste din punct de vedere electric, termic și mecanic față de solicitările care pot apare în exploatare (supratensiuni, supracurenți, trepidații etc.);

— să dezvolte forță (cuplu) mare la un consum redus.

O caracteristică importantă a releelor și declanșatoarelor este *coeficientul de revenire*. El este egal cu raportul I_r/I_a , unde I_a este curentul de închidere (acționare), iar I_r — curentul de deschidere (revenire). Coeficientul de revenire este întotdeauna subunitar; cu cât acest coeficient este mai apropiat de unu, cu atât este mai mic gradul de neregularitate la dispariția curentului de acționare.

O altă caracteristică fundamentală a mecanismelor este funcția $t=f(I)$, a cărei reprezentare grafică se numește pe scurt *caracteristica releului sau declanșatorului*; t este timpul de acționare la curentul I . Se deosebesc patru categorii de caracteristici, corespunzătoare unei acționări instantanee, cu întârziere dependentă de curent, cu întârziere limitată dependentă de curent și cu întârziere independentă de curent.

Mecanisme cu acționare instantanee. Caracteristica acestor mecanisme este reprezentată în figura 3.57; acționarea este instantanee sau cu o întârziere inerentă oricărui mecanism, de îndată ce curentul depășește o valoare minimă reglată I_0 . În această categorie intră relele intermediare, care la închiderea unui circuit determină închiderea sau deschiderea mai multor perechi de contacte.

Mecanisme cu întârziere dependentă de curent. Caracteristicile acestor mecanisme sînt prezentate în figura 3.58; cu cât curentul de acționare crește, cu atât timpul de acționare se scurtează. La aceste mecanisme se reglează t_0 și I_0 , restul valorilor $t=f(I)$ rezultînd din construcția mecanismului.

Siguranțele fuzibile și mecanismele termice au asemenea caracteristici dependente.

Mecanismele cu întârziere limitată dependentă de curent. Caracteristicile acestor mecanisme sînt prezentate în figura 3.59. Se vede că pentru curenți $I_0 < I < I_1$ întârzierea este dependentă, iar pentru $I > I_1$ întârzierea este independentă de curent. La aceste mecanisme se reglează de obicei t_1 și I_0 , restul valorilor $t=f(I)$ rezultînd din construcția mecanismului.

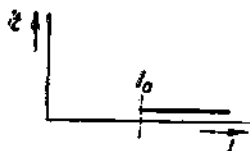


Fig. 3.57. Caracteristica unui mecanism cu acționare instantanee

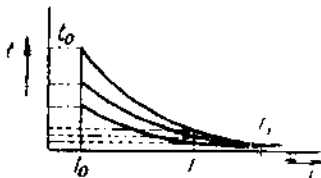


Fig. 3.58. Caracteristicile unui mecanism cu întârziere dependentă de curent

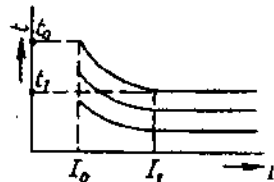


Fig. 3.59. Caracteristicile unui mecanism cu întârziere limitată dependentă de curent



Fig. 3.60. Caracteristicile unui mecanism cu întârziere independentă de curent.

Mecanisme cu întârziere independentă de curent. Caracteristicile acestor mecanisme sînt înfățișate în figura 3.60. Mecanismul acționează cu o întârziere t_0 independent de valoarea curentului $I > I_0$. La aceste mecanisme se reglează t_0 și I_0 .

Releele cu întârziere independentă de curent se mai numesc și relele de timp.

Observație. Dacă mărimea de intrare este alta decît curentul, atunci bineînțeles întârzierea (temporizarea) la acționare a releului va depinde de acea mărime.

Releele descrise se mai numesc și *relee maxime*, pentru că ele acționează la creșterea mărimei de comandă (curent, tensiune); unele relele acționează la scăderea mărimei de comandă, ele se numesc *relee minime*; alte relele acționează atunci cînd diferența a două mărimi a atins o anumită valoare (*relee diferențiale*). Alte date și aplicații ale releelor se vor da în capitolul 8.

În țara noastră, Uzina Electromagnetica—București și AMC-Otopeni fabrică diverse tipuri de relele.

3.10. TABLOURI DE DISTRIBUȚIE

Tablourile de distribuție sînt elemente ale instalațiilor electrice avînd rolul de a asigura distribuția energiei electrice la alte tablouri sau direct la receptoare, de a cuprinde elemente de protecție, de comandă sau manevră, iar la tablourile importante, aparatajul de măsură, control, semnalizare, reglaj și eventual automatizare.

În scopul evitării accidentelor și defectelor instalațiilor, în general, se utilizează tablouri separate pentru fiecare tensiune sau curent (continuu sau alternativ). Dacă soluția apare uneori nefuncțională (aparate mixte) sau neeconomică (receptoarele de altă natură reprezintă cîteva procente din totalitatea receptoarelor), se pot utiliza tablouri comune cu condiția izolării, separării și marcării clare a receptoarelor de altă natură.

De asemenea, în scopul citirii cablajelor, în cadrul tablourilor se utilizează conductoare cu culori de izolație diferite, conform indicațiilor de la paragraful 3.5.1. Este necesar, în scopul exploatării simple, ca toate circuitele care pleacă din tablouri să fie etichetate (siguranțe și cleme).

Din punctul de vedere al protecției față de mediu, tablourile se clasifică în:

— tablouri deschise, neprotejate împotriva deteriorărilor mecanice (tablouri de marmură, tablouri pe stelaje metalice, tablouri din panouri, cu acces prin spate);

— tablouri închise, protejate împotriva deteriorărilor mecanice și picăturilor (tablouri de marmură închise în dulapuri sau nișe, tablouri pe stelaje metalice închise în dulapuri sau nișe, tablouri cu sertare, tablouri de apartament, firide electrice);

— tablouri capsulate, protejate cel puțin împotriva deteriorărilor mecanice și ploii (tablouri din cutii sau dulapuri capsulate).

Tablourile de distribuție se pretează la prefabricare și la tipizare. Astfel, confecționarea lor se face astăzi în cadrul industrial socialist, în întreprinderi specializate (Întreprinderea de aparataj electric *IAEC*, Trustul de instalații și montaje București *TIMB*, Fabrica de panouri și tablouri electrice Alexandria *FPTE*), care prezintă un înalt grad de productivitate și specializare. Se obțin astfel produse (tablouri metalice și capsulate) la nivelul exigenței tehnicii moderne.

Pentru tablourile de distribuție care prezintă elemente comune (de regulă tablourile pentru alimentarea receptoarelor de lumină), în scopul scăderii prețului de cost și ridicării productivității muncii s-a făcut tipizarea lor (tablouri cu 2...4 circuite, fabricate de Uzina Electroaparataj București sau tablouri modulate — *TIMB* și Întreprinderea Automatica, care, pe gabarite date, prezintă posibilități variate de echipare).

3.10.1. TABLOURI DE DISTRIBUȚIE DIN MARMURĂ

Tablourile din marmură se caracterizează prin realizarea conexiunilor în spatele tabloului și prin simplitatea execuției. Prezintă însă mari dificultăți în exploatare în special la dimensiuni mari (accesul la conexiuni se obține prin demontarea tabloului); de asemenea, marmura este un material scump, deficitar, destinat altor domenii. Datorită acestor servituți, tablourile de marmură se utilizează din ce în ce mai rar și numai sub forma de tablouri secundare.

În figura 3.61 sînt date vederile din față (figura 3.61, *b*) și spate (fig. 3.61, *c*) cu conexiuni a unui tablou din placă de marmură / realizat după schema de distribuție din figura 3.61, *a*. Intrarea coloanei de alimentare în tablou se face prin bornele de intrare 2, de la care se face legătura la întreruptorul 3 și de la acesta, cu legături în spate, la elementele de siguranță 4. Ieșirea circuitelor din tablou se realizează prin bornele 5.

În scopul unei exploatare simple și pentru protecție, tablourile, cu excepția celor amplasate în încăperile destinate instalațiilor electrice, se montează cu latura inferioară la o înălțime de cel puțin 1,60 m, iar cea superioară la cel mult 2,20 m (la locuințe se admite montarea tablourilor deasupra ușilor de intrare, înălțimea maximă de montaj fiind de 2,50 m pentru latura superioară). De asemenea, în fața tabloului, pentru o circulație fără pericol de accidentare, coridorul trebuie să aibă o lățime minimă de 0,80 m.

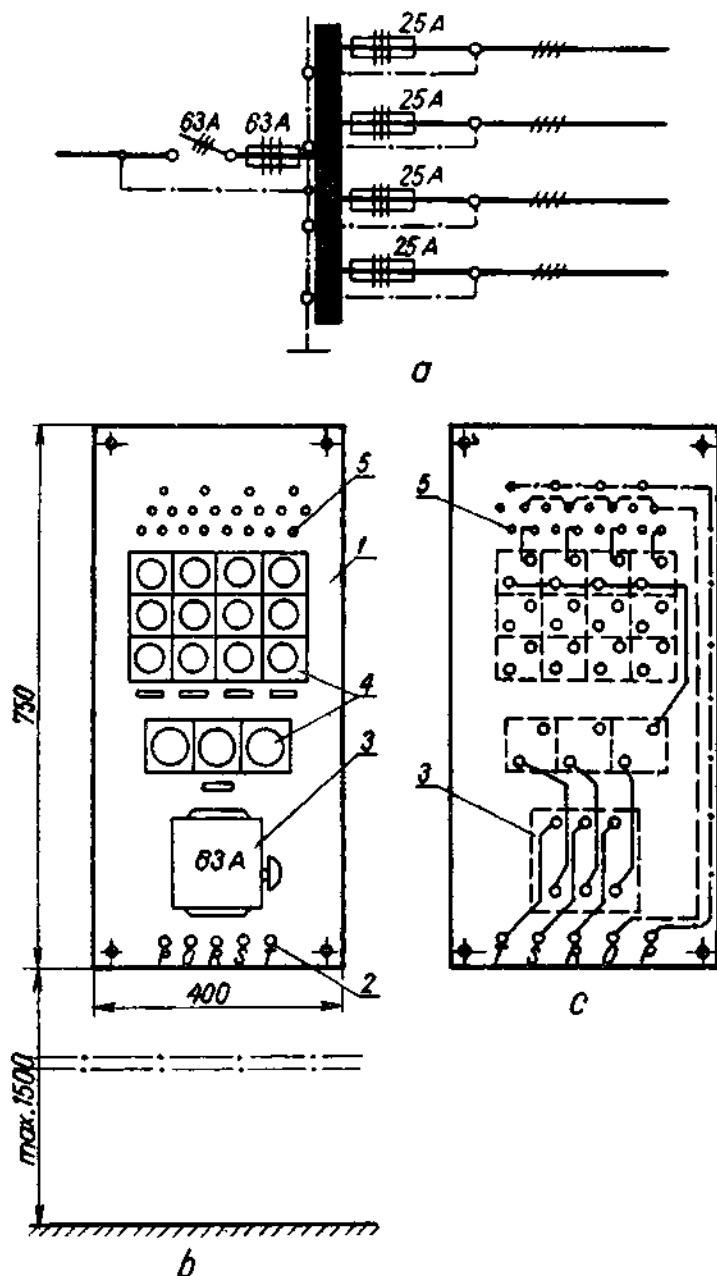


Fig. 3.61. Tablou de distribuție de marmură: a — schema de distribuție; b — vederea tabloului din față; c — vederea tabloului din spate (s-au notat: R, S, T — fazele; O — conductorul de nul de lucru; P — conductorul de nul de protecție).

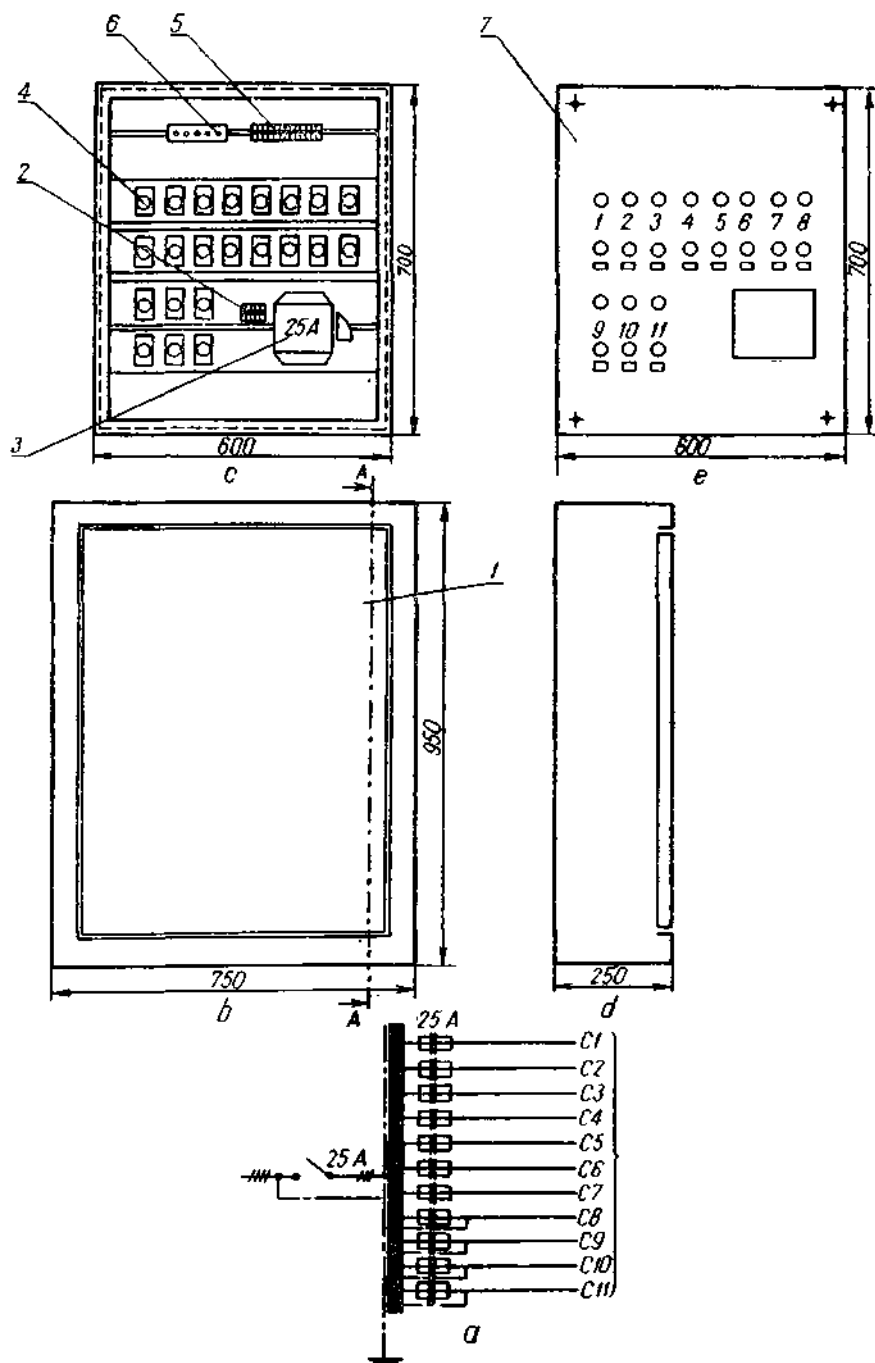


Fig. 3.62. Tablou de distribuție pe stelaș metalic montat în dulap: a — schema de distribuție; b — vederea cutiei din față; c — vederea stelașului cu echipament din față; d — secțiune transversală (AA); e — vederea măștii de protecție din material izolanț (pertinax sau policlorură de vinil)

3.10.2 TABLOURI DE DISTRIBUȚIE METALICE

(tablă și oțel profilat)

În această categorie se încadrează tablourile realizate pe stelaje metalice (montate în nișe sau dulapuri cu acces din față), tablourile mari de tip dulap sau din panouri metalice, tablourile de apartament.

Ele prezintă o caracteristică comună: exploatarea simplă, datorită montării aparaturii cu legături în față și cablajelor ușor accesibile, ușor de înlocuit și reparat, fără să necesite demontări. De asemenea, tablourile metalice, în special cele din categoria dulapurilor, au un caracter elastic, permițând amplificări fără modificări costisitoare.

În figura 3.62 este prezentat un tablou de distribuție închis (tablou secundar) pe stelaj metalic, ce poate fi montat în dulap sau în nișe cu ușe. Tabloul materializează schema de distribuție din figura 3.62, *a*. În figura 3.62, *b* se vede din față cutia de protecție, în care se montează stelajul din figura 3.62, *c*. Intrarea coloanei de alimentare în tablou se face prin clemele 2. De la clemă, cablajul se realizează prin întreruptorul 3, elementele de siguranță *LFI* 4, clemele de ieșire 5. Pentru noul de protecție se prevede o bară de nul 6. Protejarea legăturilor aparente la atingeri accidentale se realizează printr-o placă 7 din material izolan (fig. 3.62, *e*). Înălțimea maximă a unui astfel de tablou, considerată față de nivelul pardoselii, este de 2,20 m.

În figura 3.63, *b* este dată vederea de ansamblu a unui tablou de distribuție de tip dulap, cu acces din față (tablou general) cuprinzând cinci panouri realizate după schema de distribuție din fig. 3.63, *a*, fiind prevăzut cu bare separate pentru lumină, forță și măsurarea separată a energiei (vezi cap. 5). Intrarea coloanelor generale în tablou se face prin panoul *III* (care cuprinde aparatele pentru măsurarea energiei consumate *), în reductoarele de intensitate *I*, de unde separat se ramifică la panourile *I*, *II* (pentru lumină) și *IV*, *V* (pentru forță). Urmărind un traseu se observă că tabloul materializează schema. Astfel, legătura cu barele 7 se face prin separatorul 2 și întreruptorul automat 3. De la barele 7, în panoul *I*, prin siguranțele *LFI*, 4, sau *MPR*, 5, se alimentează clemele 6, la care se leagă coloanele ce pleacă din tablou. Cu 8 s-au notat ampermetrele, cu 9 — voltmetrul, cu 10 — comutatorul voltmetric, iar cu 11 — contoarele pentru măsurarea energiei active și reactive.

Pentru tablourile mari, care deserveșc un complex de tablouri principale, se utilizează tablouri din panouri de distribuție cu comenzi în față și accesibile prin spate (pentru întreținere și exploatare). Distribuția energiei între panouri se realizează cu bare. Figura 3.64 reprezintă ansamblul unui tablou din șapte panouri, la care aparatele de măsură și comandă sînt amplasate pe fața sa.

* Panoul de măsurare este izolat și închis (sigilat) față de restul instalației, întrucît cuprinde reductoarele de măsură accesibile numai furnizorului (vezi cap. 5).

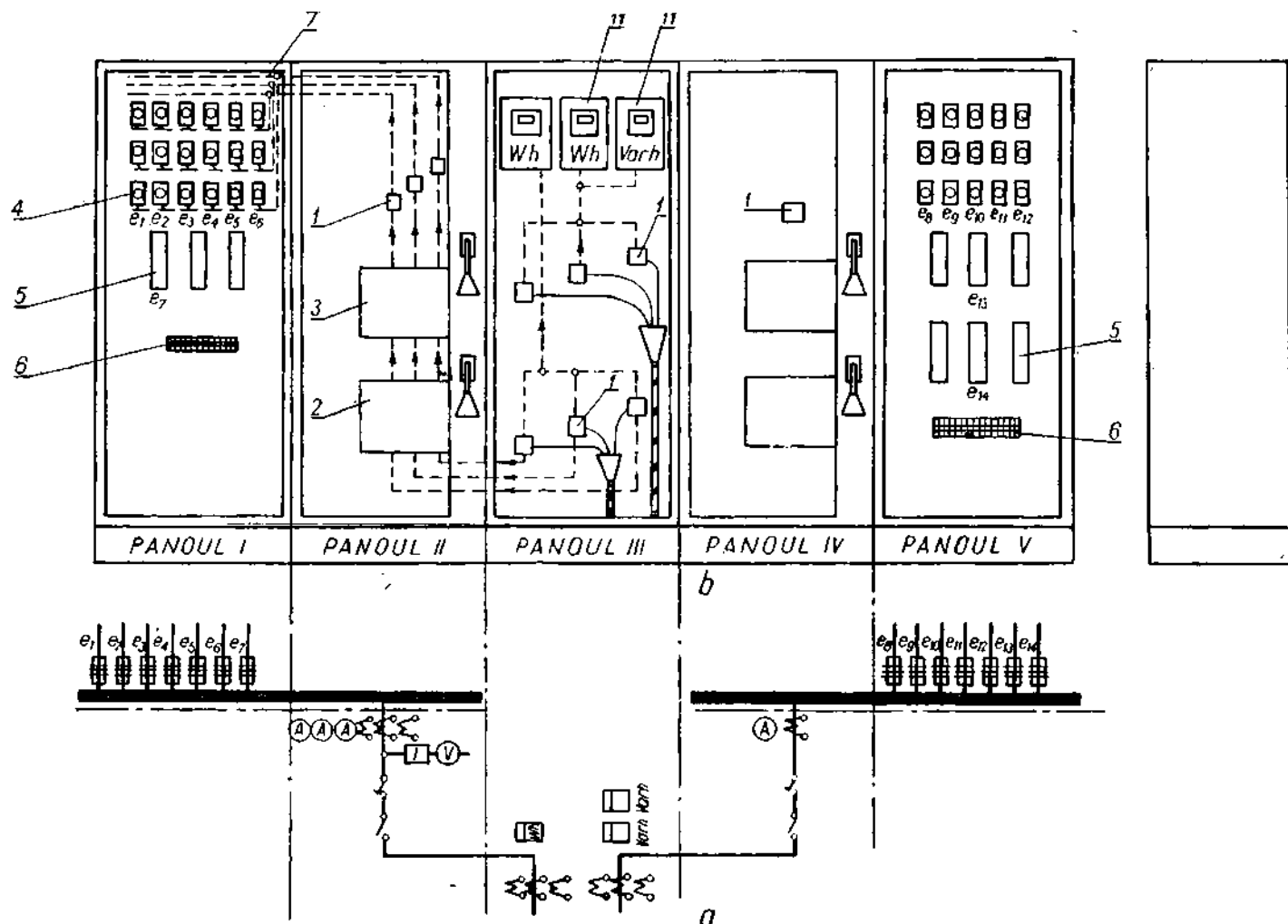


Fig. 3.63. Tablou de distribuție pe stela metalic montat în dulap din cinci compartimente: a — schema de distribuție; b — ansamblul tabloului cu ușile deschise

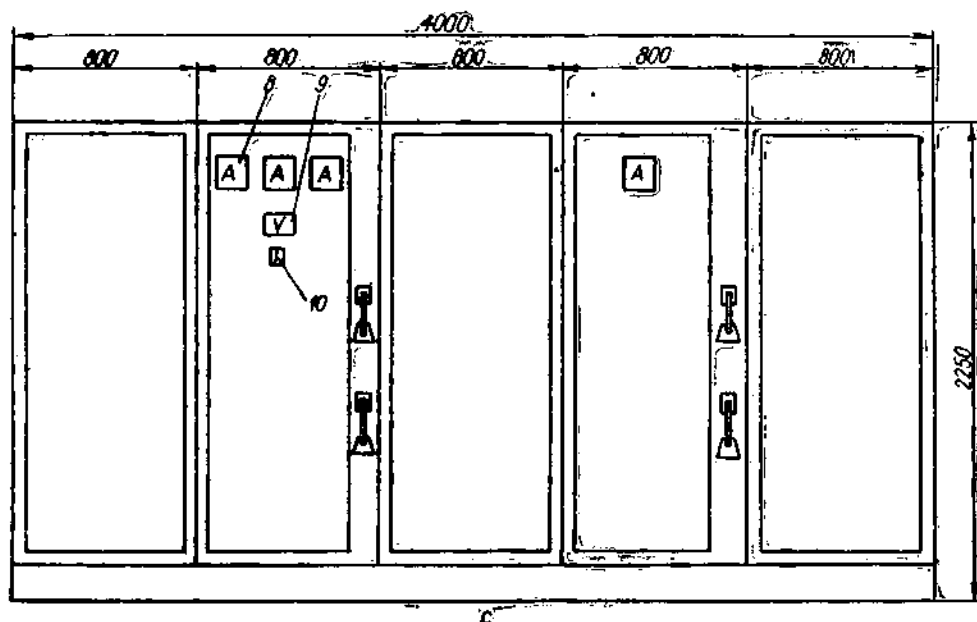


Fig. 3.63, c — ansamblul tabloului cu ușile închise

Dacă tabloul din panouri are o lungime mare (mai mult de 7 m) trebuie ca coridorul din spatele său să aibă două accese.

În anumite situații se pot utiliza și tablouri de distribuție cu dublu acces (față-spate), în scopul asigurării unei exploatare simple.

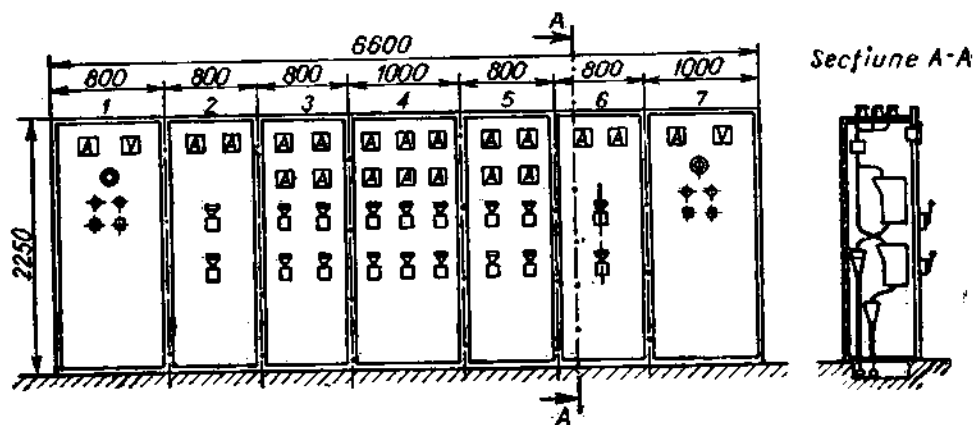


Fig. 3.64. Tabloul de distribuție din panouri metalice cu acces din față la comenzi și din spate pentru exploatare

3.10.3. TABLOURI DE DISTRIBUȚIE DIN CUTII DE FONTĂ TURNATĂ, TABLĂ AMBUTISATĂ ȘI MATERIALE PLASTICE

Tablourile de distribuție din cutii de fontă turnată, tablă ambutisată și materiale plastice se utilizează ca tablouri capsulate obținute prin asamblarea unor cutii prefabricate. Prinderea cutiilor între ele se face prin buloane, iar pe suprafața de legătură este prevăzută o garnitură de etanșare. Intrările tijelor de aparate se protejează prin presetupe.

Cutiile utilizate se clasifică din punct de vedere al funcțiunii în: cutii de bare, cutii de siguranță și aparataj și cutii sau cofrete terminale.

Tablourile capsulate din cutii se caracterizează prin elasticitate (posibilitate de extindere), montaj simplu, însă prețul este ridicat și exploatarea dificilă (fiecare cutie este prinsă în buloane presind pe ramă o garnitură de etanșare).

În figura 3.65, *b* este reprezentat ansamblul unui tablou de distribuție capsulat format din cutii de siguranță 1, cutii de bare 2 și cutii terminale 3, care materializează schema de distribuție din figura 3.65, *a*.

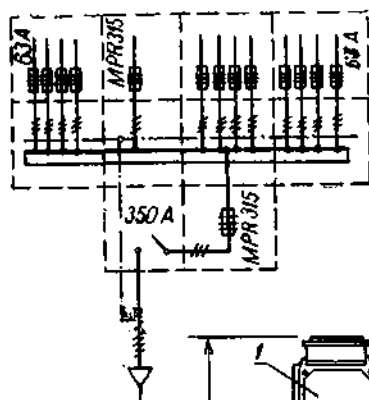
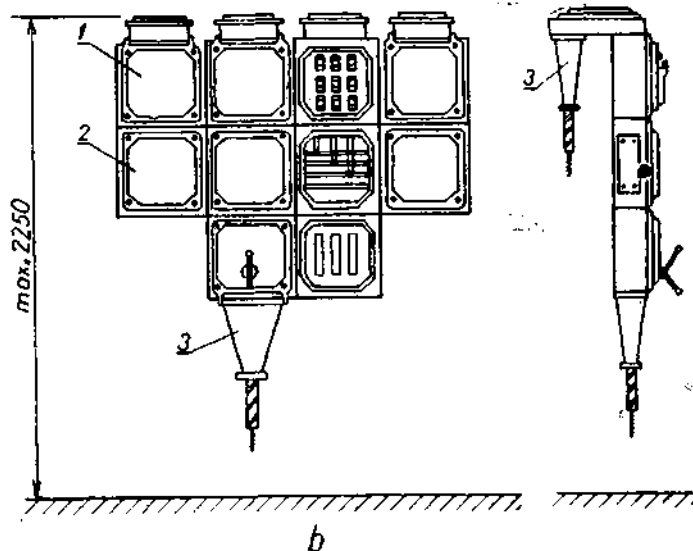


Fig. 3.65. Tablour de distribuție capsulat din cutii: *a* — schema de distribuție; *b* — vederile tabloului.



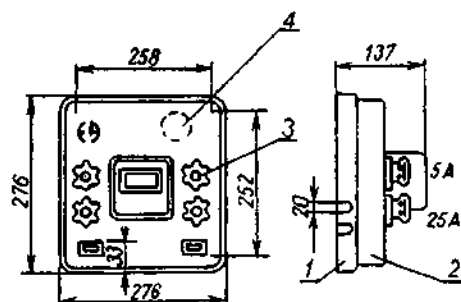


Fig. 3.66. Tablou tip bloc electric de apartament

3.10.4. TABLOURI DE DISTRIBUȚIE DIN ALTE MATERIALE

Pentru diferite scopuri ca: semnalizări sau comenzi, conexiuni sub 25 A, plăci pentru izolarea împotriva atingerilor accidentale, se utilizează plăci din pertinax, textolit sau policlorură de vinil. Un astfel de tablou de distribuție este dat în figura 3.66, care reprezintă un bloc

electric de apartament cuprinzând suportul din tablă 1, masca de protecție din PVC 2, elementele de siguranță 3, transformatorul de sonerie și clopotul 4.

3.11. PRIZE DE PĂMÎNT

Prizele de pământ sînt elemente foarte importante ale instalațiilor electrice; ele asigură *legarea la pământ* a instalațiilor electrice, adică stabilirea voită a unui contact electric între anumite puncte ale instalației și pământ. Prizele de pământ au o folosire largă în instalațiile de protecție împotriva descărcărilor electrice atmosferice, a tensiunilor accidentale de atingere, pentru exploatarea anumitor tipuri de rețele, precum și la unele instalații de curenți slabi (fonice și audio).

Prizele de pământ, sub aspect constructiv, sînt de două feluri: *prize naturale* care stabilesc legătura cu solul prin elemente de construcție destinate în principiu altor scopuri (construcții metalice, armături de beton armat, conducte metalice, mantale de cabluri etc.) și *prize artificiale* — construcții special realizate pentru stabilirea contactului cu pământul. Acestea din urmă sînt de două categorii: *prize verticale* (de adîncime) și *prize orizontale* (de suprafață).

Prizele verticale se execută de obicei din țevi de oțel zincat în lungime de circa 3 m și diametru de 40—50 mm. Țevile se leagă între ele prin bandă de oțel de 40×4 mm secțiune, îmbinarea executîndu-se prin sudare.

Prizele orizontale se realizează din benzi dispuse radial, la o adîncime de circa 0,5 m de la suprafață. Figura 3.67 prezintă exemple de construcție a prizelor de pământ.

3.11.1. REZISTENȚA PRIZELOR DE PĂMÎNT

Dacă între priza de pământ și un punct îndepărtat al solului se aplică o diferență de potențial U_p , prin priză se scurge la pământ un curent de intensitate I ; raportul:

$$R_p = \frac{U_p}{I} \quad (3-92)$$

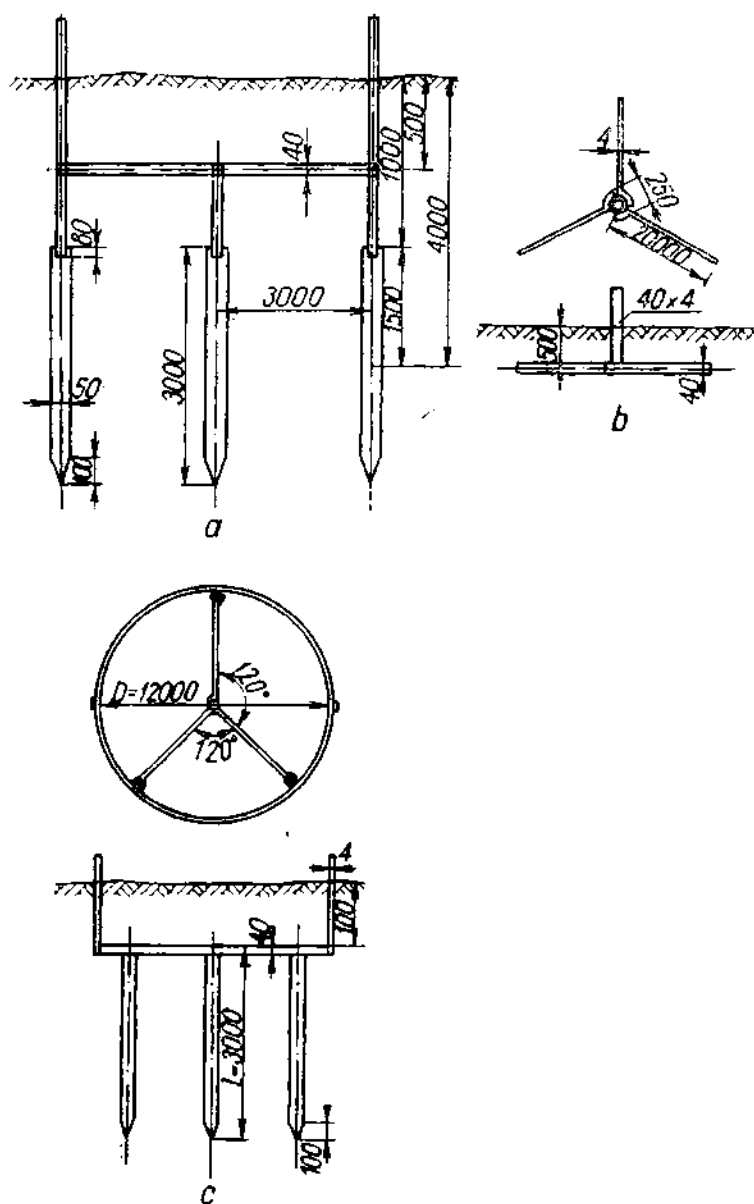


Fig. 3.67. Construcția prizei de pământ : a — verticale ; b — orizontale ; c — mixte

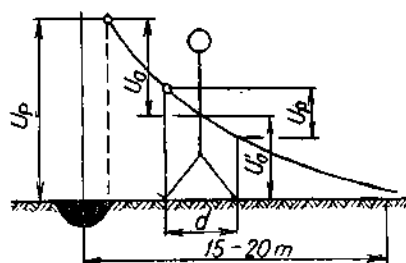


Fig. 3.68. Definirea zonei de influență a prizei de pământ, a tensiunii de atingere și a tensiunii de pas

se numește *rezistența prizei de pământ* și caracterizează în mare măsură comportarea acesteia.

Presupunând că potențialul se repartizează în jurul prizei după curba din figura 3.68, se pot defini următoarele elemente.

Zona de influență a prizei de pământ este regiunea din jurul prizei în care potențialul determinat de priză diferă sensibil de cel al punctelor depărtate de aceasta. În mod practic, zona de influență se extinde pe o suprafață de rază 15—20 m în jurul prizei.

Tensiunea de atingere (de contact) este tensiunea care poate fi aplicată corpului unui om care stă în picioare pe sol în zona de influență a prizei și atinge un element metalic legat la priza de pământ U_a sau la un punct aflat în afara zonei de influență U_0 .

Tensiunea de pas U_p este diferența între potențialele punctelor în care se găsesc picioarele omului care se deplasează pe sol radial față de priză. Lungimea pasului se poate aprecia la 0,8 m.

Toate aceste mărimi sînt determinate de forma prizei de pământ și de adîncimea ei de îngropare față de sol; ele pot fi calculate ușor dacă se cunoaște repartizarea potențialului electric în pământ.

3.11.1.1. Priză de pământ sferică îngropată în masiv. O priză de pământ sferică, din motive de simetrie, determină suprafețe echipotențiale sferice, concentrice cu priza; liniile de curent taie ortogonal aceste suprafețe, deci sînt drepte ce trec prin centrul prizei de pământ (fig. 3.69)*.

Considerînd două suprafețe echipotențiale infinit apropiate de raze x , respectiv $x+dx$, diferența potențialelor lor este:

$$dU = -\rho \frac{dx}{4\pi x^2} I, \quad (3-93)$$

unde ρ este rezistivitatea solului, iar I — intensitatea curentului ce trece de la priză la sol. Potențialul într-un punct al solului la distanța x de centrul prizei ($x > a$) este:

$$U_x = -\rho \frac{I}{4\pi} \int_{\infty}^x \frac{dx}{x^2} = \rho \frac{I}{4\pi x}. \quad (3-94)$$

Pe suprafața prizei ($x=a$), $U_a=U_p$, potențialul prizei de pământ, adică:

$$U_p = \rho \frac{I}{4\pi a}; \quad (3-95)$$

* Calculele sînt efectuate în ipoteza curentului continuu, ceea ce aproximează destul de bine și cazul curentului alternativ de joasă frecvență.

rezultă rezistența prizei de pământ sub forma:

$$r_p = \frac{U_p}{I} = \rho \frac{1}{4\pi a}; \quad (3-96)$$

relațiile (3-94) și (3-95) dau:

$$U_x = U_p \frac{a}{x}. \quad (3-97)$$

3.11.1.2. Priză de pământ emisferică la suprafața solului. În cazul utilizării unei asemenea prize, suprafața solului trebuie să fie o suprafață de curent, adică intensitatea câmpului electric nu are componentă normală la suprafața solului în nici unul dintre punctele acestuia (nu există linii de curent care să străbată suprafața solului). În acest caz, dacă se folosește metoda imaginilor electrice, adică volumul aflat deasupra solului se completează cu imaginea emisferei, iar restul se umple cu pământ (figura 3.70), se ajunge la situația anterior studiată a prizei împintate în masiv; este clar că fosta suprafață a solului reprezintă o suprafață de curent. Singura deosebire față de cazul anterior constă în faptul că intensitatea I trebuie înlocuită prin $2I$, pentru a se ține seama și de curentul ce trece la sol de la prize emisferică imagine.

— potențialul într-un punct la distanța x :

$$U_x = \rho \frac{I}{2\pi x}; \quad (3-98)$$

— potențialul prizei de pământ:

$$U_p = \rho \frac{I}{2\pi a}; \quad (3-99)$$

— rezistența prizei de pământ:

$$r_p = \rho \frac{1}{2\pi a}. \quad (3-100)$$

Relația (3-98) permite trasarea curbei de variație a potențialului în jurul prizei de pământ (fig. 3.71). Se vede că potențialul scade pe măsura îndepărtării de priză.

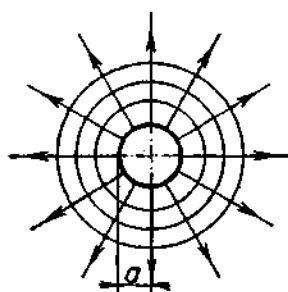


Fig. 3.69. Priză de pământ sferică îngropată în masiv

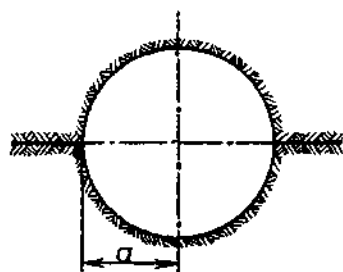
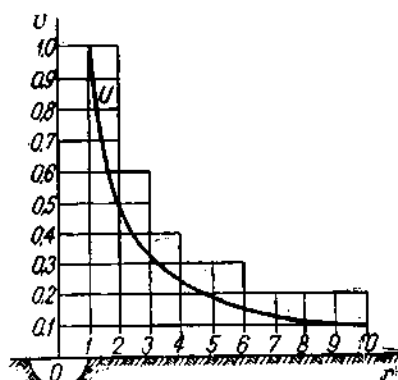


Fig. 3.70. Priză de pământ emisferică la suprafața solului și imaginea ei electrică.



3.71. Variația potențialului pe suprafața solului

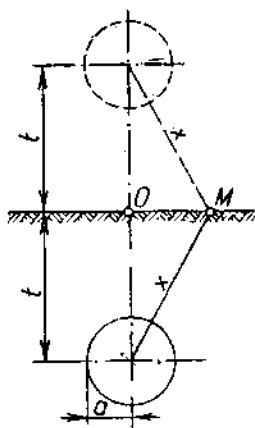


Fig. 3.72. Priză sferică îngropată și imaginea ei

La determinarea tensiunii U_p'' se consideră $2t \gg a$, astfel încît practic toate punctele din volumul prizei reale să se găsească la aceeași distanță de centrul prizei imagine. În aceste condiții, U_p'' va fi tensiunea în centrul prizei reale, adică introducînd în relația (3-94) $x=2t$, se obține:

$$U_p'' = \frac{\rho I}{8\pi t} \quad (3-105)$$

Rezultă potențialul prizei de pămînt:

$$U_p = \frac{\rho I}{4\pi a} \left(1 + \frac{a}{2t}\right) \quad (3-106)$$

Pentru a determina tensiunea de pas, se consideră un om ce se găsește la distanța x de centrul prizei, deschiderea pasului său fiind d . Deci un picior se va afla la distanța $x-d/2$, celălalt la distanța $x+d/2$ de priză. Tensiunea de pas va fi așadar:

$$U_p = U_{x-d/2} - U_{x+d/2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{x-d/2} - \frac{1}{x+d/2} \right) = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{d}{x^2 - d^2/4} \quad (3-101)$$

Tensiunea de pas maximă are loc pentru $x-d/2=a$; ea are valoarea:

$$U_{pmax} = \frac{I}{2\pi a} \frac{d}{a+d} \quad (3-102)$$

3.11.1.3. Priză de pămînt sferică îngropată. Pentru a elimina condiția la limită la nivelul solului, se folosește din nou metoda imaginilor (fig. 3.72); în aceste condiții planul de simetrie va fi o suprafață de scurgere a curenților.

Tensiunea U_p la suprafața prizei de pămînt poate fi descompusă în două componente: tensiunea U_p' determinată numai de curentul prizei reale și tensiunea U_p'' determinată numai de curentul imaginii simetrice:

$$U_p = U_p' + U_p'' \quad (3-103)$$

Tensiunea U_p' este dată de relația (3-95):

$$U_p' = \frac{\rho I}{4\pi a} \quad (3-104)$$

și rezistența prizei de pământ :

$$r_p = \frac{\rho}{4\pi a} \left(1 + \frac{a}{2l} \right). \quad (3-107)$$

Comparînd relația (3-107) cu (3-96) se vede că priza îngropată la adîncime finită are o rezistență mai mare decît priza îngropată în masiv.

Pentru a studia repartizarea potențialului pe suprafața solului, se consideră din nou priza și imaginea ei, fiecare la potențialul U_p conform relației (3-106).

Într-un punct oarecare la distanța x de centrul prizei, aceasta va determina un potențial dat de relația (3-97) :

$$U_x = U_p \frac{a}{x} = \frac{\rho I}{4\pi} \frac{1 + \frac{a}{2l}}{x}. \quad (3-108)$$

Dacă punctul se găsește în planul de simetrie (nivelul solului), potențialele determinate de sursă și de imaginea ei sînt egale, deci potențialul rezultat este dublul valorii date de relația (3-108) ; cu notațiile din figura 3.71 :

$$U_r = 2 U_x = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1 + \frac{a}{2l}}{\sqrt{t^2 + r^2}}. \quad (3-109)$$

Valoarea maximă a potențialului pe suprafață are loc pentru $r=0$:

$$U_0 = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1 + \frac{a}{2l}}{l}. \quad (3-110')$$

Dacă se ține seama de expresia potențialului unei prize de pământ singure în masiv, dată de relația (3-95), relația (3-110') se poate scrie :

$$U_0 = U_p \frac{a}{l} \left(2 + \frac{a}{l} \right); \quad (3-110)$$

rezultă :

$$U_r = U_0 \frac{l}{\sqrt{t^2 + r^2}}. \quad (3-111)$$

Figura 3.73 reprezintă curba $\frac{U_r}{U_0} = f\left(\frac{t}{a}\right)$; din relația (3-111) se vede că, pe măsură ce punctul M se îndepărtează de punctul O , potențialul scade ; pe de altă parte valoarea maximă a potențialului scade repede cu mărirea adîncimii de îngropare l . Cu creșterea lui l scade repede și tensiunea de pas.

3.11.1.4. Prize de pământ multiple, alcătuite din prize emisferice la suprafața solului, așezate în vîrfurile unui poligon regulat. Dacă prizele singulare

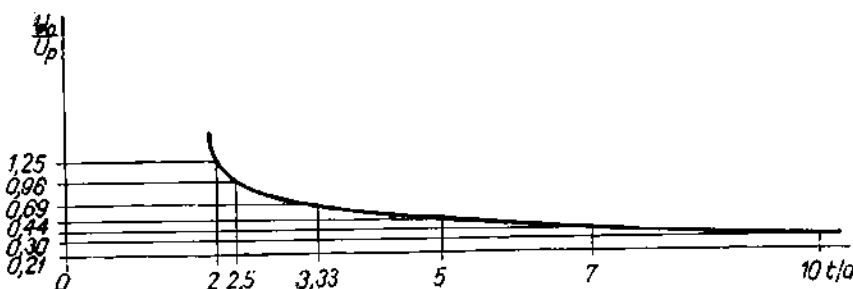


Fig. 3.73. Variația potențialului maxim pe suprafața solului funcție de adâncimea de îngropare a prizei

sînt așezate în vîrfurile unui poligon cu n laturi, din motive de simetrie rezistențele lor și curenții fiecăreia vor fi egali, adică :

$$\left. \begin{aligned} r_{p1} &= r_{p2} = \dots = r_{pt} = \dots = r_{pn} = r_p \\ I_1 &= I_2 = \dots = I_t = \dots = I_n = \frac{I}{n} \end{aligned} \right\} \quad (3-112)$$

Distanța între două prize notate cu μ și ν , conform figurii 3.74 este :

$$l_{\mu\nu} = D \sin \left[\frac{\pi}{n} (\mu - \nu) \right] \quad (3-113)$$

Ca și la punctul precedent, considerînd distanțele dintre prizele singulare mult mai mari decît dimensiunile acestora, adică :

$$l_{12} = D \sin \frac{\pi}{n} \gg 2a, \quad (3-114)$$

potențialul fiecărei prize este dat de suma dintre potențialul determinat de curentul propriu și potențialul determinat de celelalte $n-1$ prize, în centrul prizei ; acest potențial este U_p , același pentru toate prizele singulare, care sînt legate împreună.

Pentru priza n rezultă :

$$U_n = U_p = U_{nn} + \sum_{\nu=1}^{n-1} U_{n\nu} \quad (3-115)$$

Notînd cu r_p rezistența unei prize izolate (3-100), rezistența $R_{p\infty}$ a prizei multiple în cazul unor distanțe $l_{\mu\nu}$ infinit de mari între prizele singulare este :

$$R_{p\infty} = \frac{r_p}{n} \quad (3-116)$$

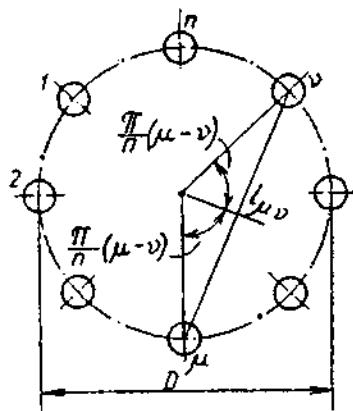


Fig. 3.74. Prize de pămînt așezate în vîrfurile unui poligon regulat

Cu aceasta, ținând seama de relațiile (3—99) și (3—100), relația (3—115) se scrie :

$$U_p = \frac{I}{n} r_p + \sum_{v=1}^{n-1} \frac{I}{n} \frac{\rho}{2\pi D \sin \left[\frac{\pi}{n} (n-v) \right]} = I R_{p\infty} \left[1 + \frac{\rho}{2\pi D r_p} \sum_{v=1}^{n-1} \frac{1}{\sin \left[\frac{\pi}{n} (n-v) \right]} \right] =$$

$$= I R_{p\infty} \left[1 + \frac{\rho}{2\pi D R_{p\infty}} f(n) \right], \quad (3-117)$$

unde :

$$f(n) = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^{n-1} \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n} (n-v)} \quad (3-118)$$

este o funcție ale cărei valori pentru $n=1 \dots 20$ sînt indicate în tabelul 3.2. Pentru $n > 20$,

$$f(n)_{n>20} \cong \frac{2}{\pi} (\ln n + 0,12). \quad (3-119)$$

Tabelul 3.2

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
$f(n)$	0,50	0,77	0,96	1,10	1,22	1,32	1,41	1,48	1,55	1,81	1,98

Trebuie observat că valorile deduse pentru $f(n)$ pot fi aplicate și cazurilor cînd prizele singulare au formă diferită de cea emisferică.

Rezistența prizei de pămînt multiple rezultă :

$$R_p = \frac{U_p}{I} = R_{p\infty} \left[1 + \frac{\rho}{2\pi D R_{p\infty}} f(n) \right]. \quad (3-120)$$

Ținînd seama de relația (3—116), R_p se poate calcula din rezistența unei prize singulare prin expresia :

$$R_p = \frac{r_p}{nu}, \quad (3-121)$$

unde

$$u = \frac{1}{1 + \frac{\rho n f(n)}{2\pi D r_p}} < 1 \quad (3-122)$$

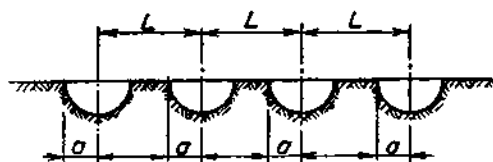


Fig. 3.75. Prize de pământ coliniare

se numește *coeficient de utilizare* al prizei de pământ. Se vede că rezistența prizei de pământ multiple este mai mare decât cea care ar rezulta din simpla legare în paralel a celor n prize singulare, din cauza ecranării reciproce a prizei așezate la distanță finită una de alta.

3.11.1.5. Prize de pământ multiple, alcătuite din prize emisferice coliniare la suprafața solului. Dificultatea calculului în asemenea cazuri constă în faptul că prizele de pământ singulare nu conduc la pământ același curent. Pentru ilustrarea modului de calcul se consideră cazul a patru prize așezate la distanțe egale (fig. 3.75). Din motive de simetrie:

$$I_1 = I_4, \quad I_2 = I_3 \quad \text{și} \quad I = 2(I_1 + I_2). \quad (3-123)$$

Evident :

$$R_{p\infty} = \frac{r_p}{4}. \quad (3-124)$$

Potențialele prizelor 1 și 2 se determină analog cazului tratat mai sus.

$$\left. \begin{aligned} U_1 = U_p &= I_1 r_p + I_2 \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{L} + I_2 \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{2L} + I_1 \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{3L} = I_1 \left(r_p + \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{3L} \right) + I_2 \frac{\rho}{2\pi} \frac{3}{2L} \\ U_2 = U_p &= I_2 r_p + I_1 \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{L} + I_2 \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{L} + I_1 \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{2L} = I_1 \frac{\rho}{2\pi} \frac{3}{2L} + I_2 \left(r_p + \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{L} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3-125)$$

Rezolvînd sistemul (3-125) în raport cu curenții I_1 și I_2 se obțin expresiile acestor curenți, proporționali cu U_p . Înlocuind mai departe în ultima expresie (3-123), se calculează rezistența prizei de pământ. Comparînd cu relația (3-124), se poate calcula coeficientul de utilizare a prizei de pământ, care este și în acest caz subunitar.

În practică, prizele de pământ artificiale sînt cel mai des realizate conform figurii 3.67, a.

Pentru calculul rezistențelor corespunzătoare se utilizează următoarele relații. *Electrozi verticali din țevă:*

$$r_p = 0,183 \frac{\rho}{l} \log \left[\left(\frac{2l}{d} \right)^2 \frac{4t+l}{4t-l} \right] \quad (3-126)$$

unde ρ este rezistivitatea solului, în $\Omega \cdot \text{cm}$; l — lungimea electrodului, în [cm]; d — diametrul electrodului, în cm; t — distanța de la mijlocul țevii pînă la suprafața solului, în cm.

Electrozi orizontali în formă de bandă:

$$r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{2l^2}{bh}, \quad (3-127)$$

unde l este lungimea benzii, în cm, b — lățimea electrodului, în cm, h — adâncimea de îngropare, în cm.

În manuale sînt date formule de calcul a rezistenței prizei de pămînt și coeficienții de utilizare a prizei de pămînt pentru alte cazuri (STAS 6119-59).

Calculul rezistenței prizei de pămînt decurge în modul următor. Se determină rezistența unei prize singulare și apoi, folosind valoarea coeficientului de utilizare, se deduce valoarea rezistenței prizei multiple. Din cauza efectului de ecranare, priza de pămînt multiplă are o rezistență mai mare decît rezistența echivalentă prizelor de pămînt singulare care ar funcționa independent.

În cazul în care priza de pămînt este compusă din elemente orizontale și verticale, se calculează separat rezistența prizei formate din elemente verticale și separat rezistența prizei formate din elemente orizontale; rezistența prizei de pămînt este rezistența echivalentă celor două rezistențe astfel determinate, legate în paralel.

3.11.2. STABILITATEA TERMICĂ A PRIZELOR DE PĂMÎNT

În cadrul instalațiilor care le utilizează, prizelor de pămînt li se impune condiția ca rezistența lor să fie inferioară unei anumite valori. După cum se vede din relațiile deduse, rezistența prizelor de pămînt este invers proporțională cu conductivitatea electrică a solului. Aceasta, la rîndul ei este în mare măsură influențată de gradul de umiditate a solului; uscarea acestuia, datorită de exemplu încălzirii determinate de trecerea curentului din priză prin sol, poate să conducă la creșterea inadmisibilă a rezistenței prizei. Acest fenomen se numește pierdere a stabilității termice de către priză. În cele ce urmează se caută condițiile pentru ca priza să-și păstreze stabilitatea termică în condițiile de exploatare.

Fie S suprafața de contact a prizei cu solul, suprafață ce poate fi considerată echipotențială; volumul de pămînt cuprins între suprafața S și o suprafață echipotențială foarte apropiată (la distanța dx) este $dV = S dx$. Dacă priza conduce la pămînt un curent de intensitate I care trece timp de t secunde, căldura degajată în rezistența dR a stratului considerat este:

$$dQ = dR I^2 t = \rho \frac{dx}{S} I^2 t. \quad (3-128)$$

În mod acoperitor se poate considera că această căldură se acumulează în întregime în volumul stratului, determinînd o creștere a temperaturii θ , așa încît:

$$dQ = c \delta dV \theta = c \delta S dx \theta, \quad (3-129)$$

unde c și δ sînt respectiv căldura specifică și masa specifică a solului. Egalînd cele două expresii ale lui dQ , se obține densitatea de curent pe suprafața în contact cu pămîntul a prizei:

$$j_p = \frac{I}{S} = \sqrt{\frac{c\delta\theta}{\rho t}}. \quad (3-130)$$

Cunoscîndu-se caracteristicile solului c , δ , ρ , admițîndu-se o creștere a temperaturii de maximum $\theta=50^\circ\text{C}$ pentru a nu se produce evaporarea umidității și cunoscîndu-se durată t , relația (3-130) permite verificarea suprafeței de contact dintre priză și sol.

3.12. DESCĂRCĂTOARE DE SUPRATENSIUNE

3.12.1. Unde de supratensiune

Dacă în apropierea unei linii electrice se află un nor încărcat cu sarcini electrice de un anumit semn, conductoarele liniei se vor încărca prin influență cu sarcini de semn contrare. Într-adevăr, norul și conductele metalice formează armăturile unui condensator al cărui dielectric este aerul; apariția unor sarcini pe o armătură atrage după sine apariția sarcinilor de semn contrar pe cealaltă armătură. În momentul în care norul se descarcă brusc către un alt nor sau către pămînt, sarcinile de pe linie se eliberează; datorită faptului că au același semn ele se resping, așa încît jumătate din numărul lor se deplasează într-un sens, jumătate — în sens contrar de-a lungul liniei. Trebuie observat că între linia electrică și pămînt se formează un alt condensator, așa încît la suprafața solului, în dreptul sarcinilor de pe linie, se deplasează simultan sarcini de semn contrar.

Fenomenul descris se numește undă; unda este caracterizată prin curentul undei, determinat de sarcinile în mișcare, și prin tensiunea ei, corespunzătoare raportului dintre sarcina din punctul considerat al liniei și capacitatea liniei față de pămînt. Datorită valorilor parametrilor care intervin, curenții de undă pot atinge intensități de sute de amperi, iar tensiunile — de 7—12 ori tensiunile nominale ale liniilor. Asemenea valori, mai ales ale tensiunii, sînt foarte periculoase, pentru că se aplică mașinilor și aparatelor conectate la linie și care nu au izolația corespunzătoare unei asemenea tensiuni.

Trebuie arătat de asemenea că, în afara supratensiunilor de origine atmosferică, pe linii pot apare supratensiuni datorite avariilor (scurtcircuite, arcuri electrice repetate de punere la pămînt etc.) sau însăși proceselor de comutare (cuplare și decuplare a transformatoarelor la linie). Primele întrec de 7—8 ori și ultimele depășesc de 2,5 ori tensiunile nominale ale liniilor, constituind și ele surse de deranjamente prin străpungerea izolației echipamentelor. În aceste cazuri supratensiunile apar datorită inductivității și capacității liniei, care-i dau acesteia un caracter de circuit oscilant.

Trebuie observat că fiecare undă de supratensiune este purtătoarea unei anumite cantități de energie, înmagazinate în cîmpul electric al condensatorului

linie-pământ, respectiv în câmpul magnetic al inductivității liniei. În timp însă, această energie scade, datorită scurgerii de sarcini electrice prin dielectricul imperfect dintre linie și sol (aer, izolatoare, stâlpi), respectiv pierderile Joule-Lenz în conductoare. De aceea, la scurt interval după apariția undelor de supratensiune, energia vehiculată scade la valori reduse.

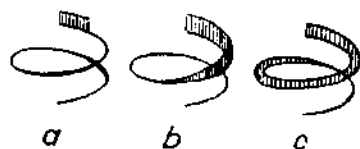


Fig. 3.76. Pătrunderea undelor de supratensiune în înfășurări

Pentru a preîntîmpina acțiunea periculoasă a undelor de supratensiune, liniile electrice și instalațiile legate nemijlocit la acestea se echipează cu dispozitive care micșorează rapid energia purtată de undă, respectiv nu permit intrarea acesteia în instalațiile care pot fi avariate. În principiu, dispozitivele de protecție împotriva supratensiunilor vor trebui să rezolve două probleme: să micșoreze valoarea supratensiunii și înclinarea „frunții” acesteia. Într-adevăr, micșorarea înclinării (pantei) frunții undei reprezintă un fenomen favorabil, după cum rezultă din figura 3.76, care arată felul cum o undă de supratensiune înaintează pe primele spire ale unei înfășurări. Dacă fruntea undei este abruptă sau foarte înclinată (fig. 3.76, *a* și *b*), între două spire vecine se aplică întreaga supratensiune sau o mare parte din ea, deci izolația spirelor va fi străpunsă. În cazul unei frunți aplatizate (fig. 3.67, *c*) între două spire vecine revine o fracțiune mai mică din tensiunea undei.

Pentru realizarea acestor țeluri, în serie sau în paralel cu linia se vor conecta elemente de circuit: rezistențe, inductivități sau capacități. În principiu, rezistența se va conecta în serie sau în paralel cu linia, inductivitatea — în serie, iar capacitatea — în paralel cu linia.

În rezistența în serie sau în paralel cu linia, evident, o parte din energia undei se va disipa sub formă de căldură. Rezistența de protecție are o valoare optimă, pentru care energia disipată este maximă. O caracteristică a rezistenței constă în faptul că ea nu modifică panta frunții undei de supratensiune.

În cazul inductivității în serie cu linia se obține un efect favorabil prin aceea că fruntea undei de supratensiune se aplatisează într-o anumită măsură. Într-adevăr, dacă la bornele unei inductivități se aplică brusc o tensiune continuă constantă (fig. 3.77), se poate scrie:

$$-L \frac{di}{dt} = -u, \quad (3-131)$$

de unde $i = \frac{u}{L} t$ (s-a presupus valoarea inițială a curentului nulă). Se vede deci că intensitatea curentului crește proporțional cu timpul; supratensiunea, fiind proporțională cu curentul, va crește și ea proporțional cu timpul, deci fruntea va fi aplatizată și aceasta cu atât mai mult cu cît inductivitatea L va fi mai mare.

Inductivitatea nefiind un element disipativ, nu va modifica energia undei de supratensiune.

În cazul capacității legate în paralel cu linia, se va obține de asemenea o aplatisare a frunții undei de supratensiune. Într-adevăr, în momentul aplicării tensiunii continue constante a undei la locul unde se găsește condensatorul (fig. 3.78), acesta este încă descărcat, deci întreaga energie a undei se înmagazinează în condensator; pe măsură ce condensatorul s-a încărcat, o cotă tot mai mare a energiei undei pătrunde în zona din aval a liniei. Așa se explică aplatisarea

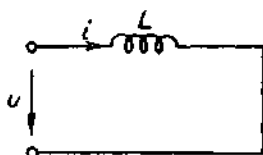


Fig. 3.77. Linie conținând inductivitate

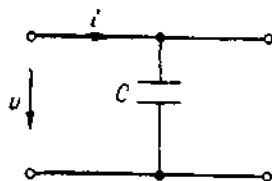


Fig. 3.78. Condensator în paralel cu linia

frunții undei de supratensiune de către condensatorul în paralel cu linia. Pe de altă parte, nici condensatorul nu modifică valoarea energiei conținută în unda de supratensiune.

3.12.2. CONSTRUCȚIA DESCĂRCĂTOARELOR DE SUPRATENSIUNE

Descărcătoarele de supratensiune sînt aparate care, în momentul apariției unei supratensiuni în linia electrică, leagă această linie la pămînt printr-o rezistență. După scurgerea supratensiunii, descărcătorul trebuie să izoleze iarăși linia față de pămînt; această operație este necesară pentru ca, în regim normal de funcționare sub tensiunea nominală a rețelei, aceasta să nu funcționeze în unele puncte ale ei legată la pămînt.

De aceea descărcătoarele de supratensiune au în compoziția lor întotdeauna un *eclator* (distanță disruptivă) E , care în regim normal izolează linia față de pămînt; în momentul trecerii frunții undei de supratensiune prin dreptul descărcătorului, distanța disruptivă este străpunsă printr-un arc electric, iar rezistența R legată în paralel cu linia determină reducerea puternică a energiei undei (figura 3.79). La dispariția supratensiunii (care durează de obicei o fracțiune foarte mică dintr-o secundă), arcu electric trebuie stins pentru a izola din nou linia față de pămînt. În acest scop se utilizează toate mijloacele folosite la stingerea arcului electric (vezi par. 3.3.4).

3.12.2.1. **Descărcătorul cu coarne**, (fig. 3.80) constă din distanța disruptivă x , reglată cu precizie în funcție de tensiunea rețelei, distanță prevăzută între cele două coarne de stingere. Stingerea arcului electric se produce la 1—2 s după dispariția supratensiunii cînd, datorită suflajului electromagnetic și aerului cald care se ridică, arcu se lungeste ridicîndu-se spre vîrfurile coarnelor. În această poziție a arcului tensiunea rețelei nu mai este suficientă pentru întreținerea, respectiv pentru reaprinderea arcului la trecerea curentului alternativ prin zero.

Rezistența în serie cu descărcătorul trebuie să fie suficient de mică pentru ca intensitatea curentului să fie mare și supratensiunea să dispară repede; la tensiuni mai mari însă, o rezistență prea mică îngreuiază stingerea arcului. Descărcătoarele cu coarne fabricate în România pentru linii de tensiune relativ joasă (6 și 15 kV) au o rezistență adițională nulă.

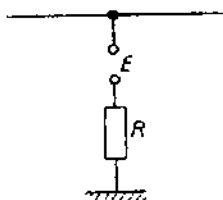


Fig. 3.79. Construcția principală a unui descărcător de supra-tensiune



Fig. 3.80. Schița descărcătorului cu coarne

3.12.2.2. Descărcătoare cu rezistențe neliniare. Aceste rezistențe, fabricate din tirit, vilit, resorbit, revar etc., au rolul de a limita tensiunea. Caracteristicile curent-tensiune ale acestor materiale au alura din figura 3.81: la curenți mari rezistența scade, ceea ce limitează tensiunea și permite totodată scurgerea rapidă a sarcinilor; la micșorarea curentului rezistența crește, determinând reducerea mai departe a curentului și ușurând astfel stingerea arcului electric.

Un asemenea descărcător, alături de rezistența neliniară, conține în serie o distanță disruptivă, care izolează descărcătorul față de linie. Ansamblul este fixat într-un tub de porțelan.

Descărcătoarele de acest tip, fabricate în România, sînt destinate protecției liniilor de 5—110 kV.

3.12.2.3. Descărcătoare tubulare. Aceste descărcătoare constau dintr-o distanță disruptivă realizată din doi electrozi introduși într-un tub dintr-un material care, sub acțiunea temperaturii ridicate a arcului electric, produce o degajare puternică de gaze (fig. 3.82). Electrocul inferior este tubular sau inelar, pentru a permite ieșirea în atmosferă a mediului puternic ionizat din tub la suflajul intens produs de către gazele degajate. Ruperea arcului se face în cel mult o jumătate de perioadă; sub descărcător trebuie lăsat un spațiu liber, pentru a feri mediul de acțiunea gazelor incandescente.

Descărcătoarele tubulare din fibra, fabricate în România, sînt destinate protecției împotriva supratensiunilor pentru liniile de 3—110 kV.

3.12.2.4. Condensatoarele de protecție constau dintr-o bobină conectată în serie cu linia elec-



Fig. 3.81. Caracteristica curent-tensiune a materialelor limitatoare de tensiune (curba punctată — materiale cu rezistență constantă)

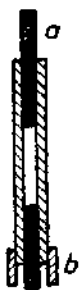


Fig. 3.82. Principiul de construcție a descărcătoarelor tubulare

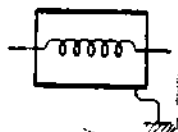


Fig. 3.83. Principiul de construcție a condensatoarelor de protecție

trică și dintr-un cilindru exterior din oțel, legat la pământ (fig. 3.83). Acest aparat întrunește într-unul singur condensatorul, legat în paralel, cu bobina și rezistența legate în serie. Într-adevăr aplatizarea frunții unei este determinată de efectul combinat al bobinei legate în serie și al condensatorului (format din armăturile bobină-cilindru) legat în paralel. Disiparea energiei unei este realizată prin efectul Joule-Lenz al curenților induși în cilindrul din oțel, care joacă rolul secundarului în scurtcircuit al unui transformator, al cărui primar îl constituie bobina. Nu întreaga energie a unei este însă anihilată; de aceea unda parcurge linia de câteva ori, reflectându-se la capete, pînă cînd se amortizează prin pierderile care au loc.

O realizare simplă a condensatorului de protecție constă în conectarea instalației terminale la linia aeriană prin intermediul unei porțiuni de cablu de câteva sute de metri lungime. În acest caz, rolul bobinei îl joacă vinele din cablu, iar cel al cilindrului exterior — mantaua de plumb a cablului.

3.13. REACTOARE (BOBINE DE REACTANȚĂ)

Reactorul este un element destinat limitării curenților de scurtcircuit. El este constituit dintr-o bobină intercalată în circuitul în care este necesară limitarea curentului (fig. 3.84).

Neglijînd căderea ohmică pe reactor, se poate scrie ecuația tensiunilor conform figurii 3.85, sub forma;

$$U_{1f} - U_{2f} = jXI, \quad (3-132)$$

$X = \omega L$ fiind reactanța reactorului.

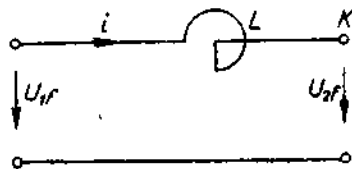


Fig. 3.84. Reactor (bobină de reactanță)

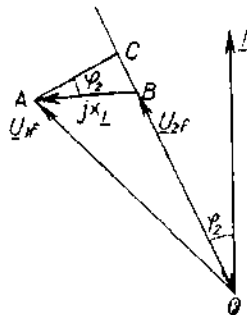


Fig. 3.85. Diagrama fazorială corespunzătoare relației (3-132)

În figura 3.85 este reprezentată diagrama fazorială corespunzătoare ecuației (3—132). Ducînd din A perpendiculara pe OB și aproximînd $OA \cong OC$, pierderea de tensiune pe reactor este :

$$\Delta U_f = U_{1f} - U_{2f} = OA - OB \cong OC - OB = BC = XI \sin \varphi_2, \quad (3-133)$$

unde φ_2 este faza curentului absorbit de consumator față de tensiunea U_{2f} . În regim normal de funcționare, φ_2 este mic și de aceea ΔU_f este mic, ceea ce este necesar pentru ca prezența reactorului să nu fie simțită. În cazul unui scurt-

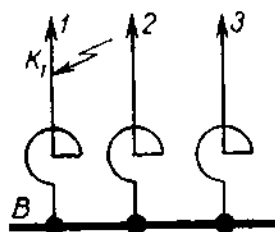


Fig. 3.86. Montarea reactorilor de linie

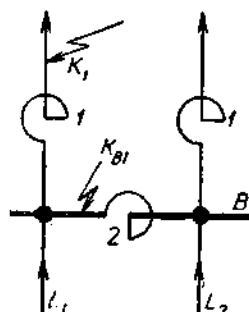


Fig. 3.87. Reactoare de linie 1 și reactoare de secție 2

circuit într-un punct K în aval de reactor, în circuit rămîne practic numai reacția X , deci φ_2 tinde spre $\pi/2$ și pierderea de tensiune crește mult, reactanța reactorului contribuind din plin la limitarea curentului.

Utilizarea reactorilor în liniile și rețelele electrice prezintă următoarele avantaje principale :

- reduc intensitatea curenților de scurtcircuit și protejează prin urmare aparatele și instalațiile de efectele termice și electrodinamice ale acestora ;
- micșorează influența scurtcircuitului ivit într-un punct al unei rețele asupra restului rețelei. Într-adevăr, deși în punctul K_1 tensiunea a scăzut practic la zero (fig. 3.86), tensiunea la barele B și deci pe liniile 2 și 3 scade mult mai puțin în cazul existenței reactorilor decît în lipsa lor ;
- localizează și limitează efectele scurtcircuitelor ;
- reduc sarcina de rupere a întreruptoarelor.

Reactoarele se montează într-una din cele două poziții arătate în figura 3.87.

Reactoarele de tip 1, din circuitul liniei de plecare (reactoare de linie) servesc la limitarea curenților determinați de scurtcircuitule produse în aval de reactoare ; ele nu au însă nici o influență asupra curentului de scurtcircuit produs la barele colectoare B .

Reactoarele de tip 2 (reactoare de secție) limitează curentul de scurtcircuit debitat, de exemplu de linia L_2 , în cazul producerii unui scurtcircuit la bară în punctul K_{B1} .

Reactoarele se instalează în general pe liniile de plecare în cabluri; pe plecărilor în linii aeriene, de obicei, nu se folosesc reactoare, pentru că liniile electrice aeriene au o inductivitate proprie destul de mare.

Reactorul este construit sub forma unei bobine fără miez de fier. Dacă reactorul s-ar construi cu miez de fier, în principiu dimensiunile sale s-ar reduce; în schimb, la curenți mari de scurtcircuit miezul de fier s-ar satura și deci inductivitatea bobinei ar scădea chiar în situația în care avantajoasă ar fi o inductivitate mai mare.

Pentru realizarea unui reactor trifazat, cele trei bobine monofazate se assemblează pe orizontală sau pe verticală conform figurii 3.88.

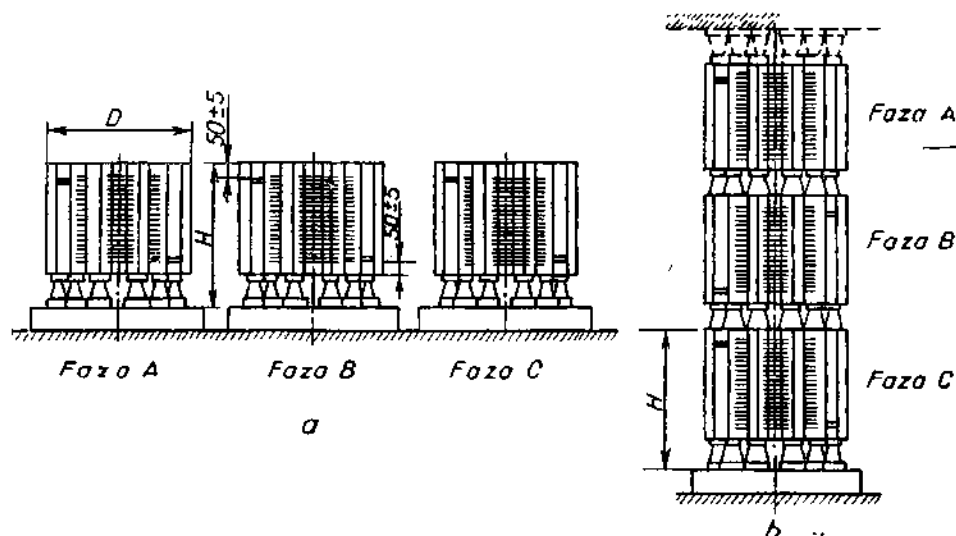


Fig. 3.88. Construcția reactorului trifazat

În România se construiesc bobine de reactanță monofazate, ale căror spire sînt înfășurate pe o carcasă din beton. Reactoarele sînt destinate a funcționa în rețele de 6, 10 și 15 kV, 50 Hz. Reactanța lor procentuală, definită ca raportul $X\% = (\sqrt{3}XI_n/U_n) 100$, U_n și I_n fiind tensiunea de linie, respectiv curentul nominal, variază între 4 și 10%.

CALCULELE GENERALE ALE LINIILOR ȘI REȚELELOR ELECTRICE

4.1. PIERDERI DE PUTERE ȘI DE ENERGIE

4.1.1. GENERALITAȚI

Transmiterea energiei electrice este însoțită de pierderi de putere și energie activă și reactivă, care se produc în linii, respectiv în aparatele ce fac parte din rețea — transformatoare, reactoare. Aceste pierderi sînt acoperite de către generatoarele din centrală ; de aceea pierderile din rețele, pe lângă cheltuielile de exploatare, reclamă și investiții suplimentare.

În tabelul 4.1 este arătată repartizarea pierderilor de putere și energie în liniile unui sistem electric.

Tabelul 4.1

Pierderi de putere și de energie în linii [%]

Elementul sistemului	Pierderi de putere			Pierderi de energie		
	Linii	Transformatoare	Total	Linii	Transformatoare	Total
$U > 110 \text{ kV}$	14,7	9,8	24,5	13,3	12,4	25,7
$U < 35 \text{ kV}$	8,0	2,0	10,0	6,9	3,0	9,9
$U = 0,1 - 10 \text{ kV}$	51,7	13,8	65,5	47,8	16,6	66,4
Total	74,4	25,6	100,0	68,0	32,0	100,0

Din tabel se vede că liniile de joasă tensiune contribuie cu circa 65% la realizarea pierderilor ; de aceea, pierderilor în rețelele de joasă tensiune și măsurilor de reducere a lor trebuie să li se acorde o atenție deosebită.

4.1.2. PIERDERI DE PUTERE

După cum se știe, pierderile de putere activă Δp într-o linie trifazată de rezistență R , străbătută de un curent de intensitate I , sînt date de expresia :

$$\Delta p = 3 R I^2 = 3 R \left(\frac{S}{U_f} \right)^2 = R \frac{S^2}{(\sqrt{3} U_f)^2} = R \frac{S^2}{U^2}, \quad (4-1)$$

unde S este puterea aparentă, iar U_f , U — tensiunea de fază, de linie.

Dacă X este reactanța liniei, pierderile de putere reactivă Δq sînt date de relația analogă :

$$\Delta q = 3 X I^2 = X \frac{S^2}{U^2} . \quad (4-2)$$

Aceste relații sînt valabile pentru linia trifazată cu o sarcină concentrată la capătul ei (fig. 4.1).

Dacă linia trifazată alimentează mai multe sarcini concentrate simetrice (fig. 4.2), pierderile de putere se vor calcula cu relațiile :

$$\Delta p = 3 \sum r I^2 = \frac{\sum r S^2}{U^2} , \quad \Delta q = 3 \sum x I^2 = \frac{\sum x S^2}{U^2} , \quad (4-3)$$

unde r , x sînt rezistențele, reactanțele tronsoanelor de linie, iar S — puterile aparente care circulă pe tronsoanele respective.

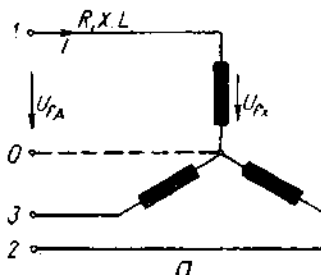


Fig. 4.1. Linie de curent alternativ trifazat cu o sarcină simetrică concentrată : a — schema completă ; b — reprezentare monofilară

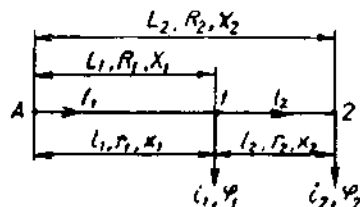


Fig. 4.2. Linie cu două sarcini concentrate

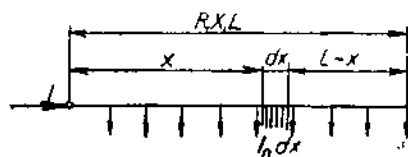


Fig. 4.3. Conductor cu sarcină uniform distribuită

În cazul unei linii monofazate sau de curent continuu cu două conductoare, pierderile de putere activă se determină cu expresia

$$\Delta p = 2 R I^2 , \quad (4-4)$$

R fiind rezistența unui conductor.

Linia cu sarcină uniform distribuită. Dacă :

$$r_0 = \frac{R}{L} , I_0 = \frac{I}{L} , \quad (4-5)$$

reprezintă rezistența unității de lungime a conductorului, respectiv curentul absorbit pe unitatea de lungime a acestuia (R , X , L , — rezistența, reacțanța, lungimea totală a conductorului, I — curentul total), pentru un tronson de lungime dx așezat la distanța x de începutul liniei, rezistența este $r_0 dx$, iar curentul care trece $I_0(L-x)$ (fig. 4.3); prin urmare pierderile de putere pentru întregul conductor sînt:

$$\Delta p = \int_0^L [I_0(L-x)]^2 (r_0 dx) = I_0^2 r_0 \frac{L^3}{3} = \frac{I^2 R}{3}. \quad (4-6)$$

În mod analog, pierderile de putere reactivă sînt:

$$\Delta q = \frac{I^2 X}{3}. \quad (4-6')$$

Dacă linia este trifazată, cu trei conductoare:

$$\Delta p = 3 \frac{I^2 R}{3} = I^2 R, \quad \Delta q = I^2 X; \quad (4-7)$$

dacă linia este monofazată sau de curent continuu,

$$\Delta p = \frac{2}{3} I^2 R. \quad (4-8)$$

Comparînd relațiile (4-6), (4-6'), (4-7) și (4-8) cu (4-1), (4-2) și (4-4), se vede că linia cu sarcină uniform distribuită are pierderi de trei ori mai mici decît o linie cu sarcina concentrată la capăt. Cu alte cuvinte, sub aspectul pierderilor, linia cu sarcină uniform distribuită este echivalentă cu o linie cu o sarcină concentrată la o treime din lungimea totală a liniei (fig. 4.4).

Linii cu sarcini uniform distribuite se întîlnesc, de exemplu, în rețelele de iluminat public, cînd lămpi de puteri egale sînt așezate la distanțe egale una de alta.

În transformatoare, pierderile de putere activă au loc în fier (Δp_{Fe}) și în cupru (Δp_{Cu}), adică:

$$\Delta p = \Delta p_{Fe} + \Delta p_{Cu}. \quad (4-9)$$

Pierderile în fier depind de inducția din miez, deci de tensiunea de alimentare a transformatorului; de aceea ele se pot considera constante (independente de sarcină). Pierderile în cupru depind de pătratul curentului (sarcinii); de aceea relația (4-9) se poate scrie:

$$\Delta p = \Delta p_{Fe} + \Delta p_{Cu_n} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2, \quad (4-10)$$

unde indicele n se referă la mărimile nominale.

Puterea reactivă consumată de un transformator, Δq , se compune din două

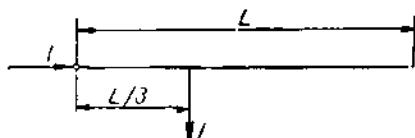


Fig. 4.4. Echivalarea conductorului cu sarcină uniform distribuită cu un conductor cu sarcină concentrată

componente: o componentă, Δq_{Fe} , corespunde curentului de magnetizare a miezului de fier, I_0^* ; considerînd transformatorul trifazat, se obține:

$$\Delta q_{Fe} = 3 U_f I_0 = 3 U_f I_n \frac{\frac{I_0}{I_n} 100}{100} = \frac{I_0 [\%]}{100} S_n. \quad (4-11)$$

Intrucît curentul de mers în gol depinde numai de tensiunea de alimentare, Δq_{Fe} este constant.

Al doilea termen, notat pentru simetrie cu Δq_{Cu} , corespunde puterii consumate pentru magnetizarea spațiului prin care se închid fluxurile de dispersie primare și secundare. Notînd reactanța de scurtcircuit cu X_{sc}^{**} și tensiunea de scurtcircuit cu U_{sc} ,

$$\begin{aligned} \Delta q_{Cu} &= 3 X_{sc} I^2 = 3 \frac{U_{scf}}{I_n} I^2 = 3 \frac{\frac{U_{scf}}{U_f} 100}{100} \frac{U_f I^2}{I_n} = \\ &= \frac{U_{sc} \%}{100} \frac{3 U_f^2 I^2}{U_f I_n} = \frac{U_{sc} \%}{100} \frac{(3 U_f I)^2}{3 U_f I_n} = \frac{U_{sc} [\%]}{100} \frac{S_n^2}{S_n} \end{aligned} \quad (4-12)$$

sau:

$$\Delta q_{Cu} = \Delta q_{Cu_n} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2,$$

unde s-a notat:

$$\Delta q_{Cu_n} = \frac{U_{sc} [\%]}{100} S_n. \quad (4-13)$$

Rezultă pentru puterea reactivă absorbită de transformator expresia:

$$\Delta q = \Delta q_{Fe} + \Delta q_{Cu_n} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \quad (4-14)$$

analogă expresiei (4-9).

În *reactoare* inducția este proporțională cu curentul prin înfășurări. De aceea pierderile totale de putere activă și reactivă sînt proporționale cu pătratul sarcinii, adică:

$$\Delta p = 3 \Delta p_{nf} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2; \quad \Delta q = 3 \Delta q_{nf} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2, \quad (4-15)$$

Δp_{nf} și Δq_{nf} fiind pierderile nominale de putere activă, respectiv reactivă, pe fază.

4.1.3. CURBE DE SARCINĂ. MĂRIMI CARACTERISTICE

Particularitatea distinctivă a producției de energie electrică constă în necesitatea de a produce în centrala electrică, în fiecare moment, cantitatea de energie electrică cerută de consumatori.

* Se neglijează componenta activă a curentului de mers în gol față de componenta sa reactivă

** Se neglijează rezistența de scurtcircuit R_{sc} în raport cu X_{sc} .

Această împrejurare face necesară cunoașterea anticipată a cererilor de energie pentru a putea face față în fiecare moment consumului. Ca atare, pentru fiecare unitate electroenergetică se construiesc așa-numitele *curbe de sarcină*, care reprezintă variația sarcinii (puterii) într-o anumită perioadă de timp.

Curbele de sarcină ale consumatorilor se determină experimental sau prin calcul. În primul caz, curbele de sarcină activă zilnice se trasează după indicația wattmetrelor care măsoară puterea absorbită de către consumator la intervale regulate de timp (din 10 în 10 minute, din 1/2 în 1/2 oră, din oră în oră), considerându-se că în intervalul de timp ales puterea a fost constantă, egală cu valoarea citită. Mai răspândită este trasarea curbei de sarcină zilnică după indicațiile contoarelor, citite la aceleași intervale de timp; atunci, pe intervalul de timp dat puterea se consideră constantă, egală cu raportul dintre energia consumată și timpul dintre două măsurări (fig. 4.5 ... 4.8). În acest caz curba de sarcină este în trepte, ceea ce simplifică mult calculele. Ordonatele curbilor de sarcină se măsoară fie în unități de putere (kW, kvar), fie în procente din puterea maximă,

Curbele de sarcină se caracterizează prin valori maxime și minime, al căror număr, poziție și durată diferă de la consumator la consumator. În figura 4.5 sînt prezentate curbele de sarcină zilnice pentru iluminatul particular, iar în figura 4.6 — pentru iluminatul public. Se vede că la iluminatul particular există maxime de dimineață și de seară, mai accentuate în zilele de iarnă decît vara; la iluminatul public există un singur maxim, cel de noapte, iar durata lui este evident mai scurtă vara decît iarna.

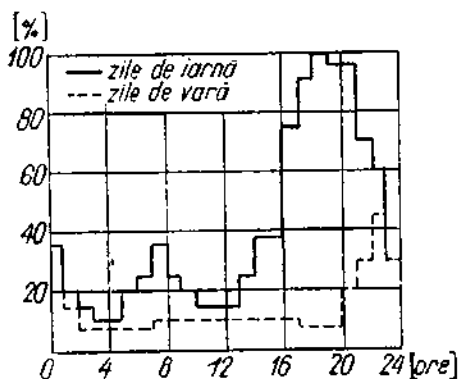


Fig. 4.5. Curbele de sarcină activă zilnice pentru iluminatul particular

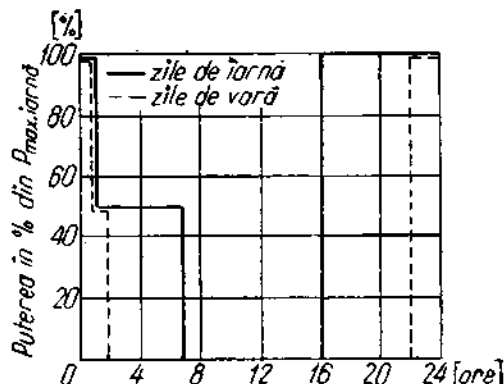


Fig. 4.6. Curbele de sarcină activă zilnice pentru iluminatul public

În întreprinderile industriale curbele de sarcină zilnice diferă de la o întreprindere la alta, în funcție de caracterul producției, de numărul de schimburi, de ora începerii și terminării acestora, de durata și poziția în timp a pauzei de muncă etc. Figura 4.7 prezintă comparativ curbele de sarcină activă zilnică în două întreprinderi cu profil de producție diferit; în figura 4.8 — curbele de sarcină în trei întreprinderi identice, dar funcționând într-un singur schimb, în două sau trei schimburi.

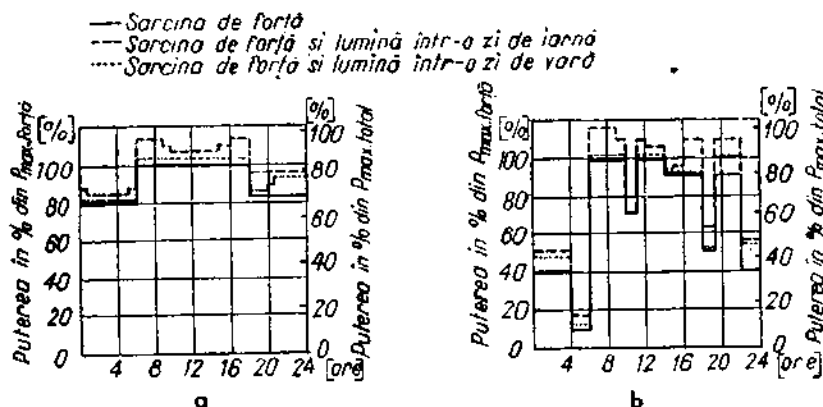


Fig. 4.7. Curbele de sarcină activă zilnice pentru o uzină chimică — a și o uzină constructoare de mașini — b

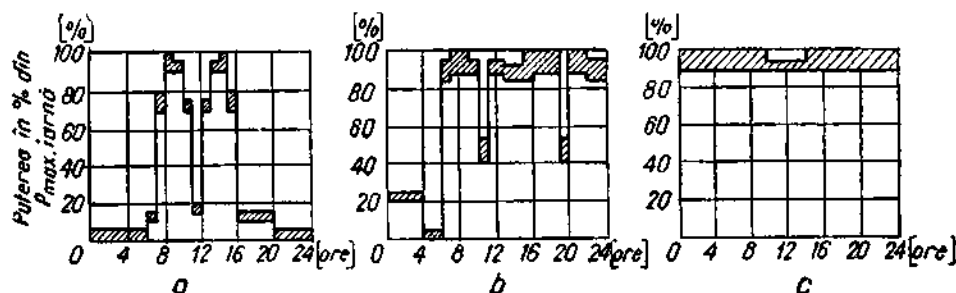


Fig. 4.8. Curbele de sarcină activă zilnice pentru trei uzine cu profil asemănător funcționând într-un singur schimb — a, în două schimburi — b și în trei schimburi — c

Din examinarea curbelor de sarcină se poate trage concluzia că acestea se modifică mult în zilele de vară față de zilele de iarnă, dacă sarcina este de iluminat; pentru consumatorii de forță, diferența este comparativ mai mică sau pur și simplu curbele pentru zilele de vară nu se deosebesc de cele pentru zilele de iarnă. Pe de altă parte, în cazul consumatorilor de forță, cu cât sarcina este mai uniform distribuită în cele 24 ore ale zilei, cu atât curba de sarcină este mai plată și cu atât utilajul instalat este mai complet folosit.

Analog cu curbele de sarcină activă zilnice se trasează și curbele de sarcină reactivă. În figura 4.9 s-au trasat curbele de sarcină activă P și reactivă Q pentru o întreprindere industrială. Dacă factorul de putere ar fi constant, ordonatele curbei Q ar fi proporționale cu cele ale curbei P (curba Q'); în realitate $\cos \varphi$ variază; de exemplu, în perioada dintre orele 16—22, din cauza vârfului de seară, tensiunea în rețea scade și odată cu ea și consumul de putere reactivă.

În mod asemănător, se pot construi și curbele de sarcină activă și reactivă anuale ale consumatorilor (fig. 4.10).

Uneori sînt necesare curbele anuale ale sarcinilor maxime; aceste curbe se trasează prin 12 puncte corespunzătoare sarcinilor maxime din fiecare lună a anului (fig. 4.10). În fine, curba anuală a sarcinilor clasate (fig. 4.11) se trasează reprezentînd diagrama de sarcini pentru anul întreg, așezate în ordinea reducerii

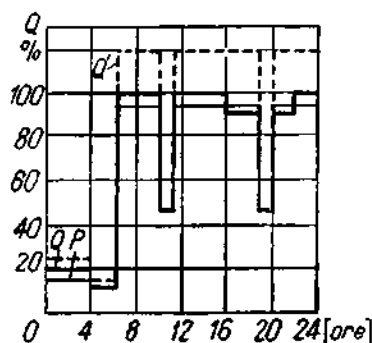


Fig. 4.9. Curbele zilnice de sarcină activă și reactivă pentru o întreprindere industrială

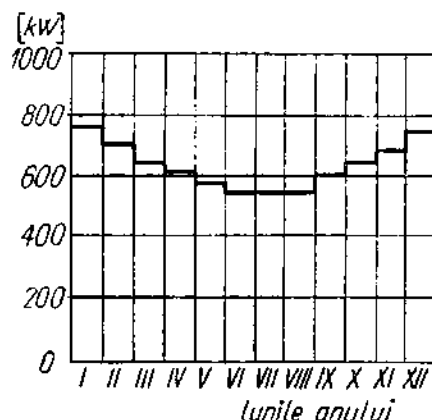


Fig. 4.10. Curba anuală a sarcinilor active pentru o întreprindere

lor continue. Această curbă se trasează foarte comod dacă se dispune de curba de sarcină anuală din figura 4.10.

Pentru rețele, centrale și sisteme energetice, curbele de sarcină zilnice și anuale se pot trasa însumînd curbele de sarcină ale consumatorilor alimentați. Trebuie reținut faptul că la curbele astfel obținute se adaugă pierderile de energie care se produc între obiectivul a cărui curbă de sarcină se trasează și consumatori. Mai jos se vor da indicații asupra modului de calcul al acestor pierderi. Ținînd seama de relația :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} UI, \quad (4-16)$$

care leagă puterea aparentă S de puterile activă și reactivă, curbele de sarcină activă și reactivă permit trasarea curbelor de sarcină aparentă.

Diferitele verigi ale unui sistem electroenergetic sînt caracterizate prin anumite mărimi*, dintre care unele pot fi deduse pe baza curbelor de sarcină.



Fig. 4.11. Curba anuală a sarcinilor clasate

* Se examinează mărimile caracteristice numai pentru consumatori; pentru celelalte categorii de instalații ale sistemului (stații, rețele etc.), aplicarea acestora se face fără dificultăți.

Energia absorbită într-o zi sau într-un an se determină cu relația :

$$W = \int_0^{t_c} P \, dt, \quad (4-17)$$

unde P este puterea, t — timpul, iar t_c — intervalul de timp dat (24 ore pentru o zi ; $24 \times 365 = 8760$ ore pentru un an). Cu ajutorul curbelor de sarcină, determinarea lui W este foarte simplă, efectuându-se prin calculul suprafeței determinate de curba de sarcină și axa timpului.

Puterea medie zilnică sau anuală rezultă din :

$$P_{med} = \frac{W}{t_c}, \quad (4-18)$$

unde P_{med} este înălțimea unui dreptunghi cu baza t_c și de suprafață W (fig. 4.12).

Coeфициентul de sarcină reprezintă raportul :

$$k_{us} = \frac{P_{med}}{P_{max}}, \quad (4-19)$$

unde P_{max} este puterea maximă în cursul perioadei de timp considerate. k_{us} rezultă ca fiind raportul dintre energia efectiv consumată și energia care ar fi fost consumată dacă consumatorul ar fi absorbit tot timpul puterea maximă.

Coeфициентul de utilizare a puterii instalate este :

$$k_{ut} = \frac{P_{med}}{P_{inst}}, \quad (4-20)$$

unde P_{inst} este puterea totală instalată, inclusiv a echipamentelor de rezervă.

Durata de utilizare a sarcinii maxime (timpul anual-zilnic de utilizare a vîrfului de sarcină) se determină din raportul :

$$T = \frac{W}{P_{max}}; \quad (4-21)$$

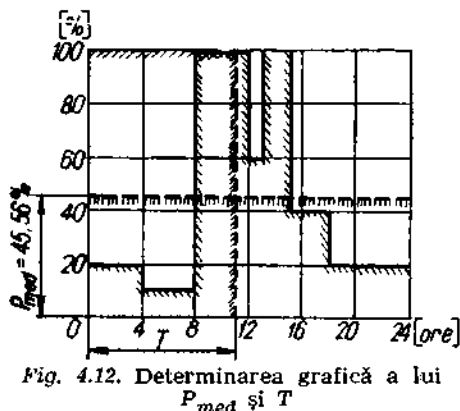


Fig. 4.12. Determinarea grafică a lui P_{med} și T

T arată ce număr de ore trebuie să funcționeze consumatorul cu puterea maximă pentru a absorbi o energie egală cu cea realmente absorbită în timpul considerat t_c .

T este baza unui dreptunghi cu înălțimea P_{max} și de suprafață W (fig. 4.12).

Durata de utilizare a puterii instalate :

$$T_{inst} = \frac{W}{P_{inst}} \quad (4-22)$$

reprezintă timpul cât ar trebui să funcționeze consumatorul absorbind

o putere egală cu puterea instalată, pentru a consuma cantitatea de energie W . Întotdeauna $T_{inst} \leq T$. Dacă $T_{inst} = T$, înseamnă că $P_{inst} = P_{max}$ și unitatea nu are putere de rezervă.

În tabelul 4.2 sînt dați coeficienții de sarcină și duratele de utilizare a sarcinii maxime anuale pentru unii consumatori.

Tabelul 4.2

Categoria de consumatori	k_{us}	T [ore]
Iluminatul interior	0,17—0,29	1 500—2 500
Iluminatul exterior	0,29—0,40	2 500—3 000
Întreprinderi industriale lucrînd :		
— într-un schimb	0,23—0,29	2 500—3 000
— în două schimburi	0,40—0,57	3 000—4 500
— în trei schimburi	0,57—0,80	4 500—7 000

Cele arătate în legătură cu puterile active pot fi aplicate și la puterile reactive și la curenții care trec prin elementele sistemului.

4.1.4. CALCULUL PIERDERILOR DE ENERGIE

Fie o linie electrică oarecare de rezistență electrică R și străbătută de un curent a cărui intensitate variază în cursul timpului conform unei curbe de sarcină cunoscute ; pierderile de energie activă în timpul t_c sînt :

$$\Delta w_a = R \int_0^{t_c} i^2 dt. \quad (4-23)$$

Aceeași energie s-ar fi pierdut într-un timp mai scurt, τ , dacă prin instalație ar fi trecut curentul maxim conform curbei de sarcină (fig. 4.13) ;

$$\Delta w_a = R I_{max}^2 \tau; \quad (4-24)$$

din egalarea relațiilor (4-23) și (4-24) rezultă :

$$\tau = \frac{\int_0^{t_c} i^2 dt}{I_{max}^2}. \quad (4-25)$$

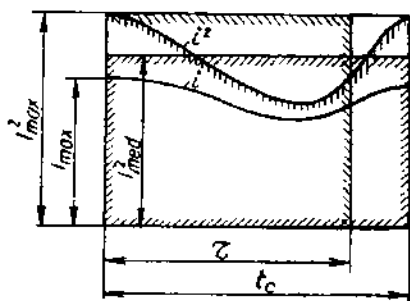


Fig. 4.13. Determinarea grafică a lui I_{med} și τ

τ se numește *timpul pierderilor maxime sau timpul pierderilor*, iar t_c se ia în genera un an.

În mod analog, pierderile Δw_a pot fi echivalate cu cele datorate unui curent mediu constant în timp, care trece prin rezistența R întregul interval t_c , adică :

$$\Delta w_a = R I_{med}^2 t_c. \quad (4-26)$$

Curentul mediu rezultă :

$$I_{med} = \sqrt{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} i^2 dt}. \quad (4-27)$$

Comparînd relația (4-24) cu (4-26) se deduce :

$$I_{med} = I_{max} \sqrt{\frac{\tau}{t_c}}. \quad (4-28)$$

Cunoscînd două dintre cele trei mărimi I_{med} , I_{max} și τ , rezultă și cea de-a treia din relația (4-28).

Pentru pierderile de energie reactivă, în mod analog se obține :

$$\Delta w_r = X I_{max}^2 \tau = X I_{med}^2 t_c. \quad (4-29)$$

În consecință, pentru liniile mono- și trifazate cu sarcini concentrate sau repartizate, pierderile de energie se vor calcula amplificînd pierderile maxime (medii) de putere, date de relațiile (4-1 ... 4-8) cu τ , respectiv t_c .

Pentru transformator, admițînd că acesta este permanent conectat la rețea, energia activă pierdută în fier în timpul t_c este :

$$\Delta w_{aFe} = \Delta p_{Fe} t_c; \quad (4-30)$$

în același timp pierderile de energie activă în cuprul transformatorului vor fi :

$$\Delta w_{aCu} = \Delta p_{Cu_n} \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \tau = \Delta p_{Cu_n} \left(\frac{S_{med}}{S_n} \right)^2 t_c. \quad (4-31)$$

Pierderile totale de energie activă în transformator vor avea expresia :

$$\Delta w_a = \Delta p_{Fe} t_c + \Delta p_{Cu_n} \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \tau \quad \left. \vphantom{\Delta w_a} \right\} \quad (4-32)$$

$$\Delta w_a = \left[\Delta p_{Fe} + \Delta p_{Cu_n} \left(\frac{S_{med}}{S_n} \right)^2 \right] t_c$$

În mod analog, pierderile de energie reactivă în transformator se calculează cu una din relațiile :

$$\left. \begin{aligned} \Delta w_r &= \Delta q_{Fe} t_c + \Delta q_{Cu_n} \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \tau \\ \Delta w_r &= \left[\Delta q_{Fe} + \Delta q_{Cu_n} \left(\frac{S_{med}}{S_n} \right)^2 \right] t_c \end{aligned} \right\} \quad (4-33)$$

În reactoare, pierderile de energie se calculează asemănător cu cazul liniilor, de aceea :

$$\left. \begin{aligned} \Delta w_a &= 3 \Delta p_{nf} \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \tau = 3 \Delta p_{nf} \left(\frac{S_{med}}{S_n} \right)^2 t_c \\ \Delta w_r &= 3 \Delta q_{nf} \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \tau = 3 \Delta q_{nf} \left(\frac{S_{med}}{S_n} \right)^2 t_c \end{aligned} \right\} \quad (4-34)$$

4.2. CALCULUL PIERDERILOR DE TENSIUNE

Tensiunea electrică într-o linie sau rețea are valori diferite în diferite puncte ale acesteia. Datorită acestui fapt, receptoarele sînt în general alimentate cu tensiuni diferite față de tensiunea lor nominală ; în cazul în care abaterile tensiunilor sînt mari, receptoarele sensibile funcționează necorespunzător, ceea ce are ca urmare scurtarea vieții lor și/sau realizarea unor parametri de funcționare nesatisfăcători. Lămpile cu incandescență subvoltate emit un flux luminos mult inferior celui nominal ; lămpile fluorescente se aprind și se sting consecutiv ; motoarele electrice se supraîncălesc etc. Din aceste motive, scăderea tensiunii de alimentare sub cea nominală este îngăduită de norme.

Cauza pentru care tensiunea unei linii electrice se modifică în lungul ei este căderea de tensiune datorită trecerii curentului electric prin rezistența și reactanța liniei. Exprimată fazorial, dacă linia este parcursă de curentul $\underline{I}$, pe rezistența R și reactanța X ale liniei au loc căderile de tensiune ohmică, respectiv reactivă :

$$\underline{\Delta U}_a = R \underline{I}, \quad \underline{\Delta U}_r = jX \underline{I}. \quad (4-35)$$

Rezultă necesitatea cunoașterii sau calculul parametrilor R , respectiv X , pentru ca încă de la proiectare să se asigure modificări ale tensiunii în limitele admisibile.

Rezistența unei linii de lungime l se calculează cu expresia :

$$R = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{s} \text{ sau } R = r_0 l, \quad (4-36)$$

unde γ este conductivitatea materialului liniei, iar s — secțiunea sa ; r_0 — rezistența pe unitatea de lungime a liniei.

Pentru reactanța inductivă formula de calcul este :

$$X = x_0 l, \quad (4-37)$$

unde x_0 este reactanța pe unitatea de lungime.

Trebuie reținut faptul că x_0 variază foarte puțin cu secțiunea conductorului din cauză că secțiunea (raza) apare sub logaritm; de aceea, pentru linii aeriene cu conductoare din cupru, x_0 variază între 0,3 ... 0,45 Ω/km și 0,3 ... 0,4 Ω/km — pentru linii cu conductoare din aluminiu. Rezultă o valoare medie de circa 0,36 Ω/km . Pentru cabluri, valoarea medie a lui $x_0 \approx 0,10 \Omega/\text{km}$.

Liniiile electrice posedă și o reactanță capacitivă care produce căderi de tensiune suplimentare; în problemele care intervin mai jos capacitățile joacă un rol redus, de aceea influența lor poate fi lăsată la o parte.

4.2.1. LINII DE CURENT CONTINUU CU SARCINI CONCENTRATE

Schema unei linii cu trei sarcini concentrate este prezentată în figura 4.14. În cadrul calculului se va determina pierderea maximă de tensiune, care are loc în dreptul consumatorului cel mai îndepărtat de punctul de alimentare. Cu notațiile din figura 4.14 se poate scrie pierderea maximă de tensiune sub forma :

$$\Delta U = U_A - U_3 = 2 (I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3) = 2 \Sigma I r. \quad (4-38)$$

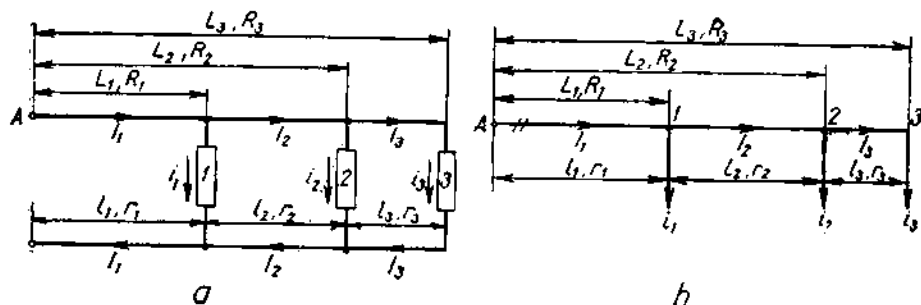


Fig. 4.14. Linie de curent continuu cu mai multe sarcini concentrate : reprezentare bifilară — a și monofilară — b

În relația (4-38) factorul 2 apare pentru a se ține seama de rezistența atât a conductorului de ducere, cât și a celui de întoarcere.

Pierderea de tensiune poate fi determinată și în funcție de curenții i , absorbiți de consumatori. Observând că :

$$\left. \begin{aligned} I_3 &= i_3 & r_1 &= R_1 \\ I_2 &= i_2 + I_3 = i_2 + i_3 & r_1 + r_2 &= R_2 \\ I_1 &= i_1 + I_2 = i_1 + i_2 + i_3 & r_1 + r_2 + r_3 &= R_3 \end{aligned} \right\}, \quad (4-39)$$

rezultă :

$$\begin{aligned}\Delta U &= 2 [(i_1 + i_2 + i_3) r_1 + (i_2 + i_3) r_2 + i_3 r_3] = \\ &= 2 [i_1 r_1 + i_2 (r_1 + r_2) + i_3 (r_1 + r_2 + r_3)] = \\ &= 2 (i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3) = 2 \sum i R.\end{aligned}\quad (4-40)$$

Este evident că relațiile (4-38) și (4-40) pot fi aplicate unui număr oricît de mare de consumatori.

Dacă secțiunea conductoarelor s este constantă, relațiile (4-38) și (4-40) se pot scrie :

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma s} \sum I l = \frac{2}{\gamma s} \sum i L. \quad (4-41)$$

Expresiile iL poartă numele de *momentele curenților*.

Împărțind relația (4-41) cu U_n — tensiunea nominală a liniei și înmulțind cu 100, se obține pierderea de tensiune în procente din tensiunea nominală, sub forma :

$$\Delta U \% = \frac{200 \sum I l}{\gamma s U_n} = \frac{200 \sum i L}{\gamma s U_n}. \quad (4-42)$$

Relațiile (4-42) pot fi utilizate pentru verificare, valorile ΔU , găsite prin calcul, fiind comparate cu pierderea de tensiune admisibilă $\Delta U_{ad} \%$. Ele pot fi însă transformate în relații de dimensionare a secțiunii conductoarelor, obținându-se :

$$s = \frac{200 \sum I l}{\gamma U_n \Delta U_{ad} \%} = \frac{200 \sum i L}{\gamma U_n \Delta U_{ad} \%}. \quad (4-43)$$

Uneori sarcinile sînt date prin puteri în loc de curenți ; legătura între puteri și curenți este :

$$P = U_n I, \quad p = U_n i. \quad (4-44)$$

Înlocuind în relația (4-42), respectiv în (4-43), se obține :

$$\begin{aligned}\Delta U \% &= \frac{200 \sum P l}{\gamma s U_n^2} = \frac{200 \sum p L}{\gamma s U_n^2} \\ s &= \frac{200 \sum P l}{\gamma U_n^2 \Delta U_{ad} \%} = \frac{200 \sum p L}{\gamma U_n^2 \Delta U_{ad} \%}.\end{aligned}\quad (4-45)$$

4.2.2. LINII DE CURENT ALTERNATIV TRIFAZAT ÎNCĂRCATE SIMETRIC

4.2.2.1. Linie cu o sarcină concentrată la capăt. Schema unei asemenea linii este dată în figura 4.1. Ecuația t.e.m. în circuitul fazei I și al conductorului neutru este :

$$-j X I = R I + U_{fx} - U_{fA}; \quad (4-46')$$

de aici rezultă :

$$\underline{U}_{fA} = \underline{U}_{fx} + R \underline{I} + j X \underline{I}. \quad (4-46)$$

În figura 4.1 conductorul neutru s-a figurat numai pentru ușurarea scrierii ecuației t.e.m. ; în realitate acest conductor nu este instalat. Chiar dacă ar fi instalat, ecuația t.e.m. își păstrează aceeași formă, pentru că sarcina trifazată este simetrică, intensitatea curentului care străbate conductorul neutru este nulă și căderile de tensiune pe acest conductor sînt tot nule.

Figura 4.15 reprezintă diagrama fazorială corespunzătoare ecuației (4-46). Diagrama se construiește pornind de la $\underline{U}_{fx}$ și curentul $\underline{I}$, adăugîndu-se apoi la $\underline{U}_{fx}$ căderile de tensiune $R \underline{I}$, $j X \underline{I}$ — paralel, respectiv perpendicular pe fazorul $\underline{U}_{fx}$. Suma celor trei fazori, conform (4-46), reprezintă pe $\underline{U}_{fA}$.

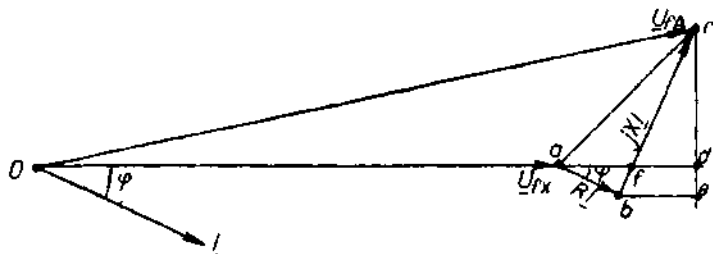


Fig. 4.15. Diagrama fazorială corespunzătoare ecuației (4-46)

Diferența fazorială dintre fazorii $\underline{Oc} = \underline{U}_{fA}$ și $\underline{Oa} = \underline{U}_{fx}$

$$\underline{ac} = \underline{U}_{fA} - \underline{U}_{fx} = R \underline{I} + j X \underline{I} \quad (4-47)$$

se numește *cădere de tensiune* ; diferența algebrică între modulele acestor doi fazori $Oc = U_{fA}$ și $Oa = U_{fx}$ se numește *pierdere de tensiune*. În general interesează valoarea tensiunii în diferitele puncte ale rețelei și mai puțin faza ei ; de aceea, de regulă, se calculează pierderile de tensiune și nu căderile de tensiune.

Calculul pierderii de tensiune ΔU_f rezultă din figura 4.15 :

$$\Delta U_f = Oc - Oa = Oc - [\sqrt{Oc^2 - cd^2} - ad] = Oc \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{cd}{Oc} \right)^2} + \frac{ad}{Oc} \right];$$

ținînd seama de faptul că $cd \ll Oc$, din dezvoltarea în serie a radicalului se pot reține numai primii doi termeni, așa că :

$$\Delta U_f = Oc \left[1 - \left(1 - \frac{1}{2} \frac{cd^2}{Oc^2} \right) + \frac{ad}{Oc} \right] = ad + \frac{cd^2}{2Oc}.$$

însă :

$$\begin{aligned} ad &= af + fd = R I \cos \varphi + R I \sin \varphi \\ cd &= ce - de = X I \cos \varphi - R I \sin \varphi \end{aligned} \quad (4-48)$$

Intrucît $U_{oc} = U_{fA} = U_{fn}$ (tensiunea nominală pe fază),

$$\Delta U_f = ad = (R I \cos \varphi + X I \sin \varphi) + \frac{(X I \cos \varphi - R I \sin \varphi)^2}{2 U_{fn}}. \quad (4-49)$$

Intrucît cel de-al doilea termen din relația (4-49) reprezintă o mică fracțiune din primul, în calculele tehnice se neglijează și pierderea de tensiune se scrie:

$$\Delta U_f = R I \cos \varphi + X I \sin \varphi. \quad (4-50)$$

Amplificînd relația (4-50) cu $\sqrt{3} U_n$ (U_n — tensiunea de linie) și observînd că $\sqrt{3} \Delta U_f = \Delta U$ — pierderea de tensiune de linie, relația (4-50) se scrie:

$$\Delta U \cdot U_n = R p + X q, \quad (4-51)$$

unde $p = \sqrt{3} U_n I \cos \varphi$ și $q = \sqrt{3} U_n I \sin \varphi$ reprezintă puterile activă și reactivă absorbite de consumatori. Rezultă:

$$\Delta U \% = \frac{R p + X q}{U_n^2} 100, \quad (4-52)$$

relație de verificare.

Relația (4-52) nu poate fi transformată direct în relație de dimensionare din cauza felului complicat în care depinde pierderea de tensiune de secțiune. De aceea, în general, la dimensionare se folosește o metodă de iterație, alegîndu-se o secțiune oarecare, verificînd cu relația (4-52) și corectînd apoi valoarea secțiunii pînă cînd pierderea de tensiune rezultă în apropierea valorii admisibile.

O metodă mai directă constă în aprecierea valorii medii a reactanței pe baza celor arătate la începutul capitoului. În acest caz, termenul Xq este cunoscut, iar secțiunea rămîne de stabilit din relația (4-52):

$$R p = \frac{L}{\gamma s} p = \frac{U_n^2 \Delta U_{ad} \%}{100} - X q. \quad (4-53)$$

În fine, dacă pierderea de tensiune reactivă Xq este de la început neglijabilă, cum se întîmplă adesea în instalațiile electrice interioare sau în cazurile în care factorul de putere este peste 0,95, secțiunea se determină din relația (4-53) fără termenul Xq .

4.2.2.2. Linie cu mai multe sarcini concentrate. Schema monofilară a unei linii cu două sarcini concentrate este prezentată în figura 4.2. Ca și în cazul precedent, ecuația t.e.m. pe fază se scrie:

$$\underline{U}_{fA} = \underline{U}_{f2} + r_2 \underline{I}_2 + j x_2 \underline{I}_2 + r_1 \underline{I}_1 + j x_1 \underline{I}_1. \quad (4-54)$$

Diagrama fazorială corespunzătoare este trasată în figura 4.16, a cu observația că:

$$\underline{U}_{f1} = \underline{U}_{f2} + r_2 \underline{I}_2 + j x_2 \underline{I}_2. \quad (4-55)$$

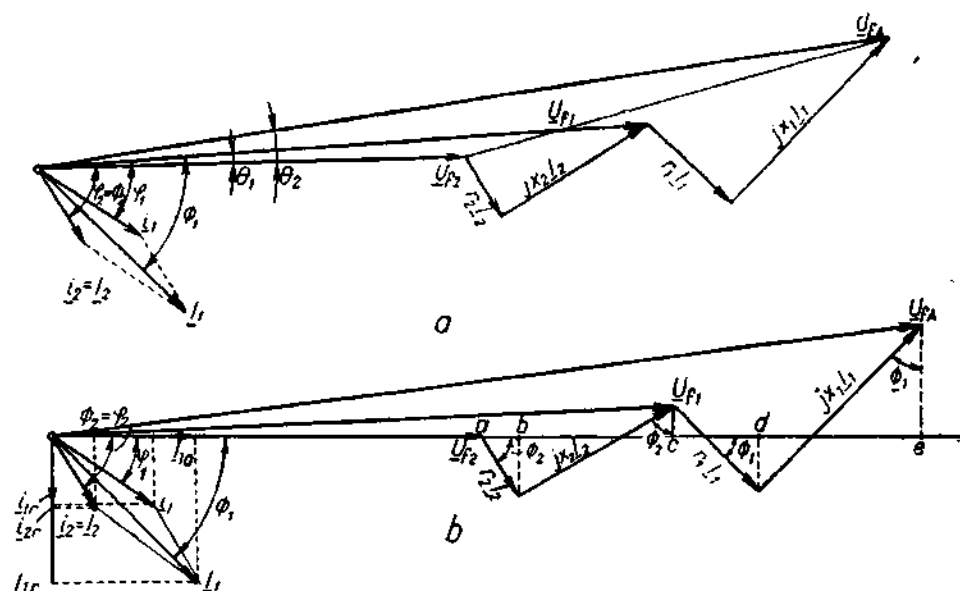


Fig. 4.16. Diagrama fazorială corespunzătoare ecuației (4-55): *a* — precisă; *b* — simplificată

Pentru obținerea unor relații simple, diagrama fazorială se simplifică, convenindu-se ca unghiurile φ și Φ să se măsoare toate de la fazorul $\underline{U}_{F2}$ (fig. 4.16, *b*); acest lucru este posibil pentru că unghiurile θ din figura 4.16, *a* sînt foarte mici. În acest caz, ducînd perpendiculara din vîrfurile fazorului $\underline{U}_{FA}$ pe suportul lui $\underline{U}_{F2}$ pînă în punctul *e* și considerînd pierderea de tensiune egală cu segmentul *ae*, se obține:

$$\begin{aligned} \Delta U_f &= ae = ab + bc + cd + de = r_2 I_2 \cos \Phi_2 + x_2 I_2 \sin \Phi_2 + \\ &+ r_1 I_1 \cos \Phi_1 + x_1 I_1 \sin \Phi_1 = r_2 I_{2a} + x_2 I_{2r} + r_1 I_{1a} + x_1 I_{1r} = \\ &= \sum (r I_a + x I_r), \end{aligned} \quad (4-56)$$

unde cu indicele *a* s-au notat componentele active, cu indicele *r* — componentele reactive ale curenților respectivi. Observîndu-se însă că:

$$\underline{I}_2 = \underline{i}_2, \quad \underline{I}_1 = \underline{i}_1 + \underline{I}_2 = \underline{i}_1 + \underline{i}_2, \quad (4-57)$$

ceea ce înseamnă că:

$$\left. \begin{aligned} I_{2a} &= i_{2a} & I_{1a} &= i_{1a} + i_{2a} \\ I_{2r} &= i_{2r} & I_{1r} &= i_{1r} + i_{2r} \end{aligned} \right\}, \quad (4-57')$$

și înlocuind în relația (4-56), rezultă:

$$\begin{aligned} \Delta U_f &= r_2 i_{2a} + x_2 i_{2r} + r_1 (i_{1a} + i_{2a}) + x_1 (i_{1r} + i_{2r}) = \\ &= i_{1a} r_1 + i_{1r} x_1 + i_{2a} (r_1 + r_2) + i_{2r} (x_1 + x_2) = \\ &= i_{1a} R_1 + i_{1r} X_1 + i_{2a} R_2 + i_{2r} X_2 = \Sigma (R I_a + X I_r). \end{aligned} \quad (4-58)$$

Amplificând relațiile (4-56) și (4-58) cu $\sqrt{3}U_n$, se obține:

$$\sqrt{3}\Delta U_f U_n = \Delta U U_n = \Sigma (rP + xQ) = \Sigma (Rp + Xq),$$

iar în procente:

$$\Delta U\% = \frac{\Sigma (rP + xQ)}{U_n^2} 100 = \frac{\Sigma (Rp + Xq)}{U_n^2} 100. \quad (4-59)$$

Este clar că expresia (4-52) reprezintă un caz particular al lui (4-59); de altfel toate observațiile făcute în legătură cu relația de calcul a pierderilor de tensiune în liniile cu o singură sarcină concentrată sînt valabile și pentru relația (4-59).

4.2.2.3. Linie cu sarcină uniform distribuită. Considerînd numai cazul cînd sarcina este pur activă (cazul cel mai frecvent), cu notațiile din figura 4.3, pierderea de tensiune pe rezistența $r_0 dx$ a elementului de linie de lungime dx parcurs de curentul de intensitate $I_0(L-x)$ este:

$$d_i(\Delta U) = \sqrt{3}r_0 dx I_0(L-x), \quad (4-60)$$

de unde:

$$\Delta U = \int_0^L \sqrt{3}r_0 dx I_0'(L-x) = \sqrt{3}r_0 I_0 \frac{L^2}{2} = \sqrt{3}r_0 I \frac{L}{2} = \sqrt{3} \frac{RI}{2}. \quad (4-61)$$

Trecînd la putere, se obține:

$$\Delta U\% = \frac{1}{2} \frac{Rp}{U_n^2} 100\%. \quad (4-62)$$

Comparînd cu relația (4-52) (în care se pune $q=0$), se vede că sub aspectul pierderii de tensiune sarcina uniform distribuită poate fi înlocuită prin sarcina concentrată, aplicată în centrul sectorului încărcat (fig. 4.17, a); dacă sarcina este uniform distribuită numai pe o parte din lungimea liniei (fig. 4.17, b), se obține:

$$\Delta U = \sqrt{3}r_0 I \left(L_0 + \frac{L}{2} \right). \quad (4-63)$$

4.2.3. LINII DE CURENT ALTERNATIV TRIFAZAT CU SARCINI NESIMETRICE

Sarcinile nesimetrice apar în rețelele care alimentează simultan consumatori de forță (simetrici) și consumatori de lumină sau numai consumatori de lumină.

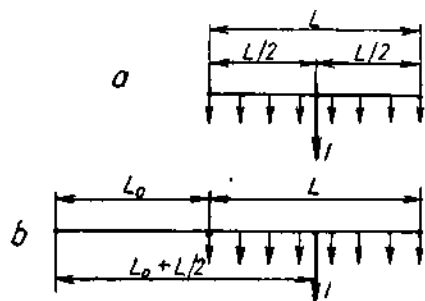


Fig. 4.17. Sarcină uniform distribuită pe întreaga linie — a și pe o parte din lungimea liniei — b

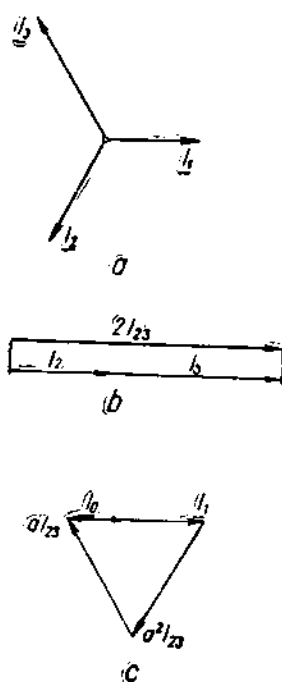


Fig. 4.18. Sarcini nesimetrice: a — diagrama fazorială a curenților; b — calculul grafic al curențului I_{23} ; c — calculul aproximativ al curențului prin conductorul de nul

Consumatorii de forță se conectează între cele trei faze, consumatorii de lumină — între fază și un conductor conectat la punctul de nul (conductor de nul de lucru). Din cauza nesimetriei sarcinilor, conductorul de nul este parcurs de un curent:

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3, \quad (4-64)$$

I_1 , I_2 și I_3 fiind curenții prin conductoarele de fază ale rețelei. Rezultă că în cazul dat, pierderea de tensiune se va afla prin însumarea pierderilor pe faza cea mai încărcată și pe conductorul de nul.

Întrucât asimetria este provocată de obicei de sarcini de lumină, se consideră numai cazul sarcinilor pur ohmice. În acest caz, cei trei curenți sînt defazați între ei cu cîte 120° .

Pentru simplificarea rezultatelor se consideră fazele 2 și 3 parcurse de curenți egali cu media curenților I_2 și I_3 ; cu alte cuvinte, curenții I_2 și I_3 se înlocuiesc prin cîte un curent a cărui valoare efectivă este:

$$I_{23} = \frac{I_2 + I_3}{2}. \quad (4-65)$$

În acest caz, conform relației (4-64), conductorul de nul este parcurs de curentul:

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_{23} + a \underline{I}_{23} = \underline{I}_1 + \underline{I}_{23} (a^2 + a) = \underline{I}_1 - \underline{I}_{23}, \quad (4-66)$$

unde $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ și $a^2 + a + 1 = 0$ (teoria componentelor simetrice).

Se vede că, în ipoteza făcută, curenții I_0 și I_1 sînt coliniari (fig. 4.18).

4.2.3.1. Rețea cu patru conductoare și cu sarcini monofazate nesimetrice. Conform celor de mai sus, pierderile de tensiune (în volți) pe fiecare din cele trei faze sînt:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_1 &= \Sigma r_1 I_1 + \Sigma r_0 \left(I_1 - \frac{I_2 + I_3}{2} \right) = \Sigma \frac{I_1 I_1}{\gamma s_1} + \Sigma \frac{I_0}{\gamma s_0} \left(I_1 - \frac{I_2 + I_3}{2} \right) \\ \Delta U_2 &= \Sigma r_2 I_2 + \Sigma r_0 \left(I_2 - \frac{I_3 + I_1}{2} \right) = \Sigma \frac{I_2 I_2}{\gamma s_2} + \Sigma \frac{I_0}{\gamma s_0} \left(I_2 - \frac{I_3 + I_1}{2} \right) \\ \Delta U_3 &= \Sigma r_3 I_3 + \Sigma r_0 \left(I_3 - \frac{I_1 + I_2}{2} \right) = \Sigma \frac{I_3 I_3}{\gamma s_3} + \Sigma \frac{I_0}{\gamma s_0} \left(I_3 - \frac{I_1 + I_2}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4-67)$$

Conform figurii 4.19, notațiile reprezintă: I_1 , I_2 , I_3 — curenții prin tronsoane; r_1 , r_2 , r_3 — rezistența tronsoanelor respective (de secțiuni s_1 , s_2 , s_3 — con-

ductoarele de fază și s_0 — conductorul de nul, γ — conductivitatea materialului).

4.2.3.2. Ramificație bifazată de la linia cu patru conductoare (fig. 4.20). Asemenea linii se construiesc atunci când condițiile de separare a consumatorilor le fac necesare; este cazul unei coloane pentru racordarea separată a două apartamente cu faze separate și nul comun. Pierderea de tensiune se va calcula considerând ramificația bifazată drept o linie cu trei conductoare

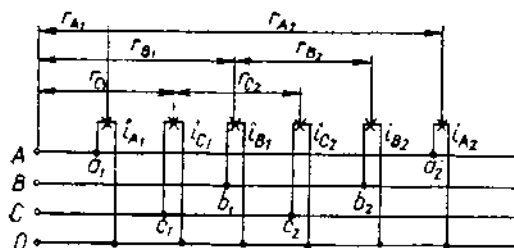


Fig. 4.19. Notatii pentru calculul pierderii de tensiune

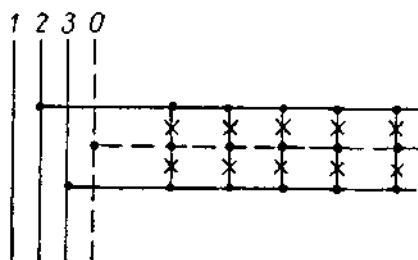


Fig. 4.20. Derivație bifazată dintr-o linie trifazată cu conductor de nul

de fază și unul de nul, în care $I_1=0$; în plus se va considera $I_2 \cong I_3$, adică: $I_0=I_2=I_3=I$ (relația 4—65). Din acest motiv, secțiunea conductorului de nul este egală cu secțiunea conductorului de fază, $s_0=s$.

Considerînd $\Delta U = \Delta U_2 = \Delta U_3$, relațiile (4—67) dau:

$$\Delta U = \Sigma r I + \Sigma r \cdot 0,5 \cdot I = 1,5 \Sigma r I = \frac{1,5 \Sigma I l}{\gamma s}, \quad (4-68)$$

relație care poate fi transformată și pentru dimensionare.

4.2.3.3. Ramificație monofazată de la linia cu patru conductoare. Asemenea ramificații se întîlnesc de obicei la bransamentele de iluminat pentru locuințele mai mici sau cu circuite monofazate. Întrucît conductorul de fază și cel de nul sînt parcurse de același curent, secțiunile se iau egale ($s_0=s$). Făcînd în prima relație (4—67) $I_2=I_3=0$, $I_1=I$, se obține:

$$\Delta U = 2 \Sigma r I = \frac{2 \Sigma I l}{\gamma s}. \quad (4-69)$$

relație identică cu cea dedusă în cazul liniei de curent continuu cu sarcini concentrate. Rezultă că toate relațiile de calcul deduse la paragraful 4.3.1. sînt valabile și în cazul de față.

4.2.4. CALCULUL LINIILOR ALIMENTATE LA AMBELE EXTREMITĂȚI

Liniiile alimentate la ambele extremități se întîlnesc destul de des în practică, este cazul consumatorilor alimentați de la două posturi de transformare, al rețelelor buclate etc.

În general, asemenea linii sînt cunoscute prin sarcinile consumatorilor, parametrii tronsoanelor de linie și tensiunile de la capete (fig. 4.21). Prima problemă care trebuie rezolvată constă în determinarea intensităților de curent absorbite de la fiecare capăt. În acest scop se scrie ecuația t.e.m. în circuitul liniei, dînd în prealabil curenților de linie sensurile pozitive arbitrare din figură :

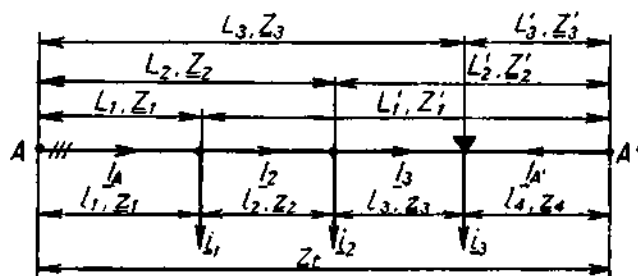


Fig. 4.21. Linie trifazată alimentată la ambele extremități

$$\underline{U}_A - \underline{U}_{A'} = \sqrt{3} (\underline{I}_A \underline{z}_1 + \underline{I}_2 \underline{z}_2 + \underline{I}_3 \underline{z}_3 - \underline{I}_{A'} \underline{z}_4). \quad (4-70)$$

Observînd însă că :

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_2 &= \underline{I}_A - \underline{i}_1 \\ \underline{I}_3 &= \underline{I}_2 - \underline{i}_2 = \underline{I}_A - \underline{i}_1 - \underline{i}_2 \\ \underline{I}_{A'} &= \underline{i}_3 - \underline{I}_3 = \underline{i}_1 + \underline{i}_2 + \underline{i}_3 - \underline{I}_A \end{aligned} \right\} \quad (4-71)$$

și înlocuind în relația (4-70), se obține :

$$\begin{aligned} \underline{U}_A - \underline{U}_{A'} &= \sqrt{3} [\underline{I}_A \underline{z}_1 + (\underline{I}_A - \underline{i}_1) \underline{z}_2 + (\underline{I}_A - \underline{i}_1 - \underline{i}_2) \underline{z}_3 - (\underline{i}_1 + \underline{i}_2 + \underline{i}_3 - \underline{I}_A) \underline{z}_4] = \\ &= \sqrt{3} [\underline{I}_A (\underline{z}_1 + \underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4) - \underline{i}_1 (\underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4) - \underline{i}_2 (\underline{z}_3 + \underline{z}_4) - \underline{i}_3 \underline{z}_4] = \\ &= \sqrt{3} [\underline{I}_A \underline{z}_t - \underline{i}_1 \underline{z}_1 - \underline{i}_2 \underline{z}_2 - \underline{i}_3 \underline{z}_3], \end{aligned} \quad (4-72)$$

de unde :

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A - \underline{U}_{A'}}{\sqrt{3} \underline{z}_t} + \frac{\Sigma i \underline{z}}{\underline{z}_t}. \quad (4-72')$$

Din motive de simetrie :

$$\underline{I}_{A'} = \frac{\underline{U}_{A'} - \underline{U}_A}{\sqrt{3} \underline{z}_t} + \frac{\Sigma i \underline{z}}{\underline{z}_t}. \quad (4-72'')$$

Relațiile (4—72') și (4—72'') reprezintă expresiile curenților absorbiți de linie pe la cele două capete. Se vede că intensitățile curenților posedă două componente. De exemplu, componentele curențului $\underline{I}_A$ sînt:

$$\underline{I}_{eg} = \frac{U_A - U_{A'}}{\sqrt{3} z_t}, \quad \underline{I}_s = \frac{\sum i z'}{z_t} \quad (4-73)$$

Componenta de egalizare $\underline{I}_{eg}$ reprezintă curențul care trece prin linie în gol (cînd toți curenții i sînt nuli). Acest curent trece sub acțiunea diferenței dintre tensiunile aplicate la capete. Componenta de sarcină $\underline{I}_s$ reprezintă contribuția sursei din A la alimentarea consumatorilor racordați la linie.

A doua problemă de rezolvat constă în determinarea poziției punctului de pe linie în care pierderea de tensiune este maximă. Pentru aceasta se observă că unul dintre consumatori absoarbe curent (putere) de la ambele surse; dacă, de exemplu, acesta este consumatorul 3, care absoarbe de la sursa A curențul i_{3A} , iar de la sursa A' curențul $i_{3A'}$, astfel încît $i_3 = i_{3A} + i_{3A'}$, linia alimentată la două capete se poate descompune în două linii independente alimentate fiecare de la un singur capăt, așa cum se vede în figura 4.22.

Este evident că pierderea de tensiune maximă în liniile componente este maximă în dreptul consumatorului ultim, adică pentru linia alimentată la două extremități pierderea de tensiune maximă trebuie căutată în dreptul punctului de separație a curenților.

La liniile de curent alternativ există un punct de separație a curenților activi și unul al curenților reactivi; în cazul general, cele două puncte de separație se găsesc în dreptul a doi consumatori diferiți. În asemenea caz, este necesar să se calculeze pierderile de tensiune pînă în dreptul ambilor consumatori și cea mai mare dintre ele să se compare cu pierderea de tensiune admisibilă.

În practică, se întîlnesc adesea rețele foarte complexe, a căror rezolvare se poate face prin metode de calcul adecvate, care sînt însă bazate toate pe utilizarea teoremelor lui Kirchhoff. O metodă modernă de rezolvare a rețelilor electrice constă în utilizarea modelelor electrice (mese de calcul). De asemenea, posibilități noi de rezolvare a rețelilor le oferă calculatoarele electronice, care pot fi utilizate pentru determinarea soluțiilor optime.



Fig. 4.22. Liniile alimentate la un capăt echivalente liniei alimentate la ambele capete

4.3. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURT-CIRCUIT

4.3.1. GENERALITĂȚI. SCURT-CIRCUITUL MONOFAZAT

Prin scurtcircuit se înțelege punerea în contact a unor elemente care în mod normal se găsesc la tensiuni diferite, impedanța circuitului astfel format fiind relativ mică. Intensitatea curențului care trece prin circuit (curențul de scurt-

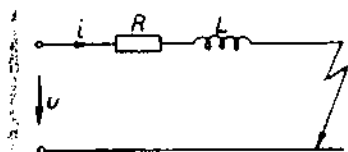


Fig. 4.23. Parametrii liniei la scurtcircuit

circuit) este mare, putând provoca efecte termice sau electrodinamice periculoase; de aceea, scurtcircuitul reprezintă în general un deranjament al rețelei.

Fenomenele care au loc la un scurtcircuit pot fi urmărite cu ajutorul schemei prezentate în figura 4.23, care reprezintă o linie de rezistență R și inductivitate L (reactanța $X = \omega L$), alimentată cu tensiune alternativă:

$$u = U_m \sin(\omega t + \alpha),$$

unghiul α fiind faza tensiunii în momentul producerii scurtcircuitului. Ecuația t.e.m. în circuitul din figura 4.23 este:

$$-L \frac{di}{dt} \Rightarrow Ri - u$$

sau:

$$Ri + L \frac{di}{dt} = U_m \sin(\omega t + \alpha), \quad (4-75)$$

soluția ei fiind de forma:

$$i = i_p + i_t. \quad (4-76)$$

i_p este componenta de durată (periodică) a curentului de scurtcircuit, ea avînd expresia:

$$i_p = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi). \quad (4-77)$$

Înlocuind relația (4-77) în (4-75) și identificînd coeficienții, se obțin cunoscutele relații de calcul al parametrilor z și φ :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{X}{R}. \quad (4-78)$$

Componenta tranzitorie (aperiodică) a curentului i_t este soluția ecuației omogene:

$$Ri_t + L \frac{di_t}{dt} = 0, \quad (4-79)$$

cu soluția:

$$i_t = Ke^{-t/T}, \quad T = \frac{L}{R}, \quad (4-80)$$

T fiind constanta de timp a circuitului, iar K — o constantă de integrare. Valoarea lui K se determină înlocuind relațiile (4—77) și (4—80) în ecuația (4—76) și punind condiția inițială ca la momentul $t=0$ curentul prin circuit, i , să fie nul. Prin urmare:

$$\frac{U_m}{Z} \sin(\alpha - \varphi) + K = 0, \quad K = -\frac{U_m}{Z} \sin(\alpha - \varphi), \quad (4-81)$$

adică:

$$i = \frac{U_m}{Z} \left[\sin(\omega t + \alpha - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-t/T} \right]. \quad (4-82)$$

În figura 4.24 este reprezentată variația componentelor curentului de scurt-circuit și a curentului total de scurtcircuit (rel. 4—82). Se vede că după circa $4T$ de la producerea scurtcircuitului, componenta aperiodică a curentului practic s-a amortizat.

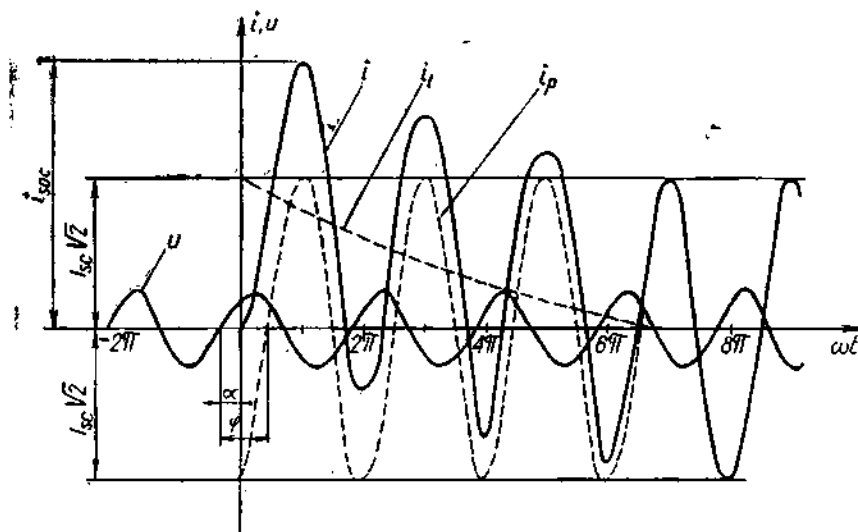


Fig. 4.24. Variația componentelor la scurtcircuitul instantaneu: i_p — componenta periodică; i_t — componenta tranzitorie; I_{sc} — valoarea efectivă a curentului periodic de durată; i_{soc} — valoarea de vîrf a curentului (curentul de șoc)

Cînd scurtcircuitul are loc în apropierea surselor, se poate considera $X \gg R$, deci $\varphi \approx \pi/2$; în acest caz:

$$i = \frac{U_m}{Z} \left[e^{-t/T} \cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha) \right]. \quad (4-82')$$

În fine, dacă constanta de timp T se consideră foarte mare, în primele momente după scurtcircuit $e^{-t/T} \approx 1$, așa încît:

$$i = \frac{U_m}{Z} [\cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha)]. \quad (4-82'')$$

Valoarea maximă a curentului are loc practic în momentul în care $\cos(\omega t + \alpha) = -1$, adică $\omega t = \pi - \alpha$, deci după trecerea unei jumătăți de perioadă din momentul scurtcircuitării:

$$i_m = \frac{U_m}{Z} (1 + \cos \alpha). \quad (4-83)$$

Cea mai mare valoare a curentului maxim, *curentul de șoc*, are loc dacă $\alpha = 0$, adică dacă scurtcircuitul se produce în momentul trecerii tensiunii prin valoarea zero; valoarea maximă posibilă a curentului este egală cu dublul amplitudinii componentei periodice a curentului de scurtcircuit ($2\sqrt{2} I_{sc}$). În cazurile reale curentul de șoc este mai mic, din cauza amortizării pe care o suferă componenta tranzitorie în cursul jumătății de perioadă care trece pînă în momentul producerii vîrfului de curent. *Raportul curentului de șoc*:

$$k = i_{\text{șoc}} / I_{sc} \quad (4-84)$$

are o valoare cuprinsă între $(1 \dots 2) / \sqrt{2}$; asupra lui k se dau detalii în paragraful următor.

4.3.2. SCURT CIRCUITELE POLIFAZATE

În cazul scurtcircuitelor polifazate, în punctele suficient de îndepărtate de generatoarele sincrone care alimentează rețeaua, curenții periodici se calculează ca și la scurtcircuitul monofazat, împărțind tensiunea care alimentează linia scurtcircuitată la impedanța acestei linii. Prin urmare, pentru scurtcircuitul trifazat, dacă U_n este tensiunea de linie în punctul de alimentare, iar Z_{sc} este impedanța unei faze pînă la locul scurtcircuitului (figura 4.25):

$$I_{sc}^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} Z_{sc}}. \quad (4-85)$$

În cazul scurtcircuitului bifazat, tensiunea care alimentează circuitul este U_n , iar impedanța este suma impedanțelor celor două faze, așa că:

$$I_{sc}^{(2)} = \frac{U_n}{2 Z_{sc}}. \quad (4-86)$$

Pentru scurtcircuitul monofazat, tensiunea de alimentare este cea de fază, iar impedanța se compune din impedanța fazei la care se adaugă impedanța conductorului neutru (sau a solului) Z_0 , adică:

$$I_{sc}^{(1)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} (Z_{sc} + Z_0)}. \quad (4-87)$$

Comparînd cele trei relații (4-85), (4-86) și (4-87) și observînd că în general $Z_0 \gg Z_{sc}$, rezultă:

$$I_{sc}^{(3)} > I_{sc}^{(2)} > I_{sc}^{(1)}. \quad (4-88)$$

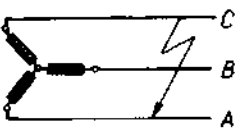
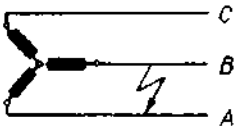
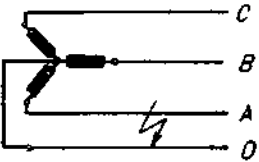
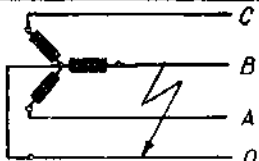
<i>Felul scurtcircuitului</i>	<i>Schema de principiu</i>	<i>Notafia (n)</i>	<i>Frecvența relativă (%)</i>
<i>Trifazat</i>		(3)	5
<i>Bifazat</i>		(2)	10
<i>Monofazat</i>		(1)	65
<i>Bifazat la nul (pământ)</i>		(1,1)	20

Fig. 4.25. Tipuri de scurtcircuite în rețelele trifazate

Rezultă că în rețele, cel mai periculos caz de scurtcircuit este cel al scurtcircuitului trifazat; considerarea numai a acestui caz, așa cum se face în continuare, este deci acoperitoare.

În ceea ce privește componentele aperiodice pe cele trei faze, valorile lor vor fi diferite, pentru că în momentul scurtcircuitării fazele tensiunilor diferă între ele cu câte 120° ; întotdeauna, în momentul scurtcircuitului, una dintre tensiunile de fază trece prin zero sau este apropiată de valoarea zero, prin urmare într-una din faze curentul de șoc are valoare mare.

Cele arătate sînt valabile atunci cînd participarea mașinilor sincrone — în general a mașinilor electrice cu cîmp învîrtitor la fenomenele tranzitorii de la scurtcircuit este redusă. Acest lucru se întîmplă cînd punctul în care s-a produs scurtcircuitul este separat de mașină printr-o linie de impedanță mare în raport cu reactanța longitudinală a generatorului. În asemenea cazuri parametrii circuitului (rezistențe și inductivități) pot fi considerați constanți. Acesta este și cazul rețelelor de joasă tensiune.

În rețelele de joasă tensiune, raportul curentului de șoc k se poate considera egal cu $1,3 \sqrt{2}$ dacă scurtcircuitul se produce la tablourile de joasă tensiune

ale transformatoarelor de putere 560—1 000 kVA, cu tensiune de scurtcircuit de 5,5% și de 1,2 $\sqrt{3}$ — la alimentarea din transformatoare de 100—320 kVA, cu tensiune de scurtcircuit de 5,5%.

La scurtcircuite în puncte mai îndepărtate ale rețelei de distribuție — $k \cong \sqrt{2}$.

Dacă însă scurtcircuitul are loc în imediata apropiere a bornelor unui motor asincron în funcțiune, energia magnetică înmagazinată în fierul acestuia se transformă în căldură, dezvoltată de un curent de circa 6,5 ori curentul nominal al motorului, curent care se adaugă la valoarea curentului de șoc.

În fine, dacă scurtcircuitul are loc în apropierea bornelor mașinilor sincrone, fenomenele la scurtcircuit brusc capătă un nou aspect. În acest caz, reactanța longitudinală a alternatoarelor sincrone are valoarea preponderantă; însă, această reactanță în cursul scurtcircuitului brusc se micșorează mult față de valoarea sa normală, ceea ce are ca urmare mărirea corespunzătoare a amplitudinii curentului periodic. În cazul scurtcircuitului instantaneu la bornele mașinii sincrone, curentul de șoc are valoarea $i_{\text{șoc}} = k I''$, unde I'' este valoarea efectivă a curentului periodic „supratranzitoriu”, adică în momentele care urmează imediat producerii scurtcircuitului. I'' are o valoare mult mai mare decât I_{sc} , dar el scade repede, astfel încât în câteva semiperioade atinge valoarea lui I_{sc} . Cât privește k el are valori de ordinul $1,8 \sqrt{2} \cong 2,55$.

Cazul semnalat nu se prezintă în instalațiile de joasă tensiune, cu excepția rețelor alimentate de grupuri locale motor-generator.

O altă observație constă în faptul că, dacă rezistența care intră în compoziția impedanței de scurtcircuit are o valoare sub 30% din cea a reactanței, curenții de scurtcircuit se pot calcula ținând seama numai de reactanță. În rețelele de joasă tensiune însă, în general, impedanța de scurtcircuit Z_{sc} trebuie calculată ca sumă geometrică dintre rezistența de scurtcircuit R_{sc} și reactanța de scurtcircuit X_{sc} :

$$Z_{sc} = \sqrt{R_{sc}^2 + X_{sc}^2}. \quad (4-89)$$

În rețelele electrice, între punctele de alimentare cu energie și punctul în care se produce scurtcircuitul, există porțiuni de diferite tensiuni, cuplate între ele cu ajutorul transformatoarelor. În asemenea cazuri, rezistențele și reactanțele de scurtcircuit pot fi calculate numai după raportarea lor la una și aceeași tensiune de bază, aleasă de obicei egală cu cea a zonei din rețea în care are loc scurtcircuitul. Raportarea se face amplificând valoarea reală a parametrului $R_k (X_k)$ cu pătratul raportului dintre tensiunea de bază U și tensiunea de funcționare U_k a elementului, adică:

$$R'_k = R_k \left(\frac{U}{U_k} \right)^2, \quad X'_k = X_k \left(\frac{U}{U_k} \right)^2, \quad (4-90)$$

cu indicele prim (') notându-se mărimile raportate. Parametrii de scurtcircuit se calculează cu expresiile:

$$R_{sc} = \sum R'_k, \quad X_{sc} = \sum X'_k, \quad (4-91)$$

sumele extinzându-se la toate elementele care se găsesc între sursă și punctul de scurtcircuit (transformatoare, bobine, linii aeriene, cabluri etc.).

Formulele (4-90) se justifică simplu, ținând seama de condiția conservării puterilor.

Într-adevăr, pierderile de putere într-o rezistență R_k parcursă de un curent I_k sînt date de expresia $R_k I_k^2$. Cînd tensiunea liniei se modifică de la valoarea U_k la valoarea U , și curentul se va modifica obținînd valoarea I ; cele două valori ale curentului sînt însă legate prin condiția conservării puterilor, adică:

$$U_k I_k = U I. \quad (4-92)$$

În noua situație, rezistența R_k trebuie să fie înlocuită cu o rezistență echivalentă, R'_k , în care să se producă aceleași pierderi, adică:

$$R'_k I^2 = R_k I_k^2; \quad (4-93)$$

ținînd seama de relația (4-92), se obține prima relație (4-90). Cea de-a doua relație (4-90) se obține analog din condiția conservării pierderilor de putere reactivă.

În rețelele trifazate existente, intensitatea curentului de scurtcircuit trifazat este calculată în anumite puncte importante (de exemplu, la barele stației de transformare); de fapt, în aceste puncte se dă *puterea de scurtcircuit* calculată cu relația:

$$S_{sc} = \sqrt{3} U_n I_{sc}^{(3)}. \quad (4-94)$$

De asemenea se cunoaște și factorul de putere la scurtcircuit, $\cos \varphi_{sc}$.

Cu aceste date se pot calcula impedanța, rezistența și reactanța de scurtcircuit în punctul dat, cu ajutorul relațiilor:

$$Z_{sc} = \frac{U_n^2}{S_{sc}}, R_{sc} = Z_{sc} \cos \varphi_{sc}, X_{sc} = Z_{sc} \sin \varphi_{sc}. \quad (4-95)$$

Prima relație (4-95) se deduce simplu în modul următor:

$$Z_{sc} = \frac{U_{nf}}{I_{sc}} = \frac{(\sqrt{3} U_{nf})^2}{3 U_{nf} I_{sc}} = \frac{U_n^2}{S_{sc}}.$$

Pentru calculul valorii parametrilor de scurtcircuit într-un punct al rețelei situat în aval față de punctul dat, este suficient, deci, ca la valorile (4-95) să se adune valorile parametrilor porțiunii de rețea cuprinse între cele două puncte.

Exemplu de calcul. Să se determine valorile curenților de scurtcircuit în punctele K_1 și K_2 ale rețelei a cărei schemă este dată în figura 4.26, a.

Calculul rezistențelor și reactanțelor s-a făcut în figura 4.26, b. Pentru cazul scurtcircuitului în punctul K_1 :

$$R_{sc} = R'_2 + R'_3 = 0,62 + 0,216 = 0,836 \text{ m}\Omega,$$

$$X_{sc} = X'_1 + X'_2 + X'_3 = 0,8 + 0,162 + 9,6 = 10,562 \text{ m}\Omega,$$

deci impedanța de scurtcircuit este:

$$Z_{sc1} = \sqrt{0,836^2 + 10,562^2} = 10,57 \text{ m}\Omega,$$

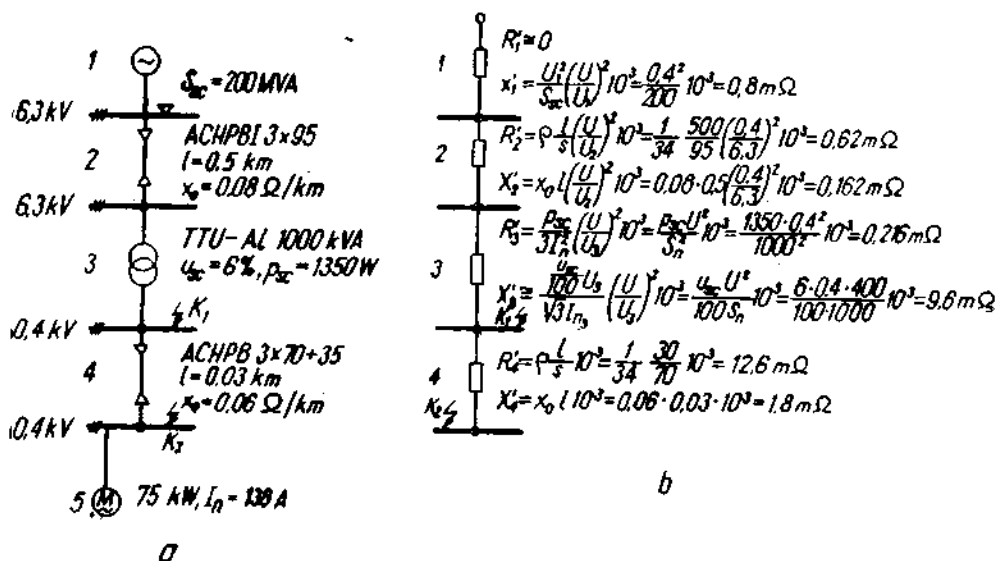


Fig. 4.26. Curenți de scurtcircuit, exemplu de calcul

iar curentul de scurtcircuit:

$$I_{sc1} = \frac{400}{10,57} \cong 38 \text{ kA.}$$

Curentul de șoc:

$$i_{\text{șoc1}} = 1,3 \sqrt{2} \cdot 38 = 70 \text{ kA.}$$

Pentru scurtcircuitul produs în punctul K_2 :

$$R_{sc} = R'_2 + R'_3 + R'_4 = 0,62 + 0,216 + 12,6 = 13,436 \text{ m}\Omega.$$

$$X_{sc} = X'_1 + X'_2 + X'_3 + X'_4 = 0,8 + 0,162 + 9,6 + 1,8 = 12,362 \text{ m}\Omega,$$

$$Z_{sc2} = \sqrt{13,436^2 + 12,362^2} = 18,3 \text{ m}\Omega,$$

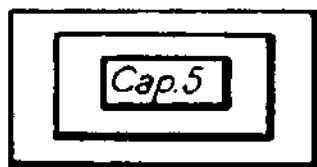
$$I_{sc2} = \frac{400}{18,3} \cong 22 \text{ kA.}$$

La calculul curentului de șoc $i_{\text{șoc2}}$ trebuie ținut seama și de aportul motorului asincron M ; de aceea:

$$i_{\text{șoc2}} = 1,3 \sqrt{2} \cdot 22 + 6,3 \cdot 138 \cdot 10^{-3} = 40,5 + 0,9 = 41,4 \text{ kA.}$$

Comparând rezultatele calculelor, rezultă influența puternică pe care o are cablul de joasă tensiune 4 asupra limitării curentului de scurtcircuit, mai ales pe seama creșterii rezistenței de scurtcircuit. De asemenea, se poate observa rolul precumpănitor al reactanței transformatorului.

Calculul efectuat este acoperitoare, pentru că nu s-a ținut seama de parametrii de scurtcircuit ai altor aparate din instalație — transformatoare de măsură, întreruptoare, bare etc.



INSTALAȚII ELECTRICE DE LUMINĂ ȘI FORȚĂ

Instalațiile electrice de lumină și forță materializează alimentarea și distribuția energiei electrice pentru receptoarele de lumină și forță amplasate în interiorul construcțiilor civile și industriale, cât și rețelele în incinta consumatorului. Înainte de a detalia modul de realizare a instalațiilor, este necesară definirea noțiunilor uzuale și domeniului instalațiilor electrice care fac obiectul cursului.

5.1. RECEPTOR, CONSUMATOR ȘI FURNIZOR DE ENERGIE ELECTRICĂ. CLASIFICĂRI

Receptorul este un transformator de energie care absoarbe energia electrică de la sursă și o transformă în alte forme de energie: mecanică, căldură, lumină (motor electric, cuptoare electrice, lămpi).

Din punctul de vedere al modului de utilizare a energiei transformate, receptoarele se clasifică în:

- receptoare de lumină;
- receptoare de forță și similare (motoare, cuptoare electrice).

Receptoarele sînt alimentate în general la joasă tensiune * ($3 \times 380/220$ V; $3 \times 220/127$ V sau în rețele vechi $3 \times 208/120$ V), cu excepția receptoarelor de forță de mare putere (peste 200 kW) care se alimentează la medie tensiune, pentru reducerea pierderilor de tensiune și de putere.

Prin *consumator* se definește ansamblul instalațiilor electrice de distribuție și utilizare, ce servesc o întreprindere civilă sau industrială racordată la rețeaua de distribuție a furnizorului de energie electrică.

Din punctul de vedere al siguranței în exploatare, consumatorii se clasifică în:

- consumatori de categoria I (foarte importanți; întreruperea alimentării cu energie electrică produce pagube importante, periclitează vieți omenești, perturbază activitatea orașelor);

* Tensiunile de transport și distribuție se clasifică în: înaltă tensiune (peste 35 kV), medie tensiune (1...35 kV), joasă tensiune (sub 1 kV).

— consumatori de categoria *II* (se produc pagube prin întreruperea producției, fără pericol de accident asupra omului);

— consumatori de categoria *III* (nu produc pagube sau perturbări importante).

Consumatorii de categoria *I* trebuie să aibă asigurată alimentarea permanentă cu energie electrică din două surse independente (v. par. 5.2.1.1.).

Consumatorii de categoria *II* trebuie să aibă asigurată alimentarea permanentă pentru anumite receptoare vitale (iluminat de siguranță, pompe de incendiu, ventilație de avarie), iar pentru celelalte receptoare se admite o întrerupere de maxim 2 ore.

Consumatorii de categoria *III* permit o întrerupere de maxim 24 ore.

Din punctul de vedere al specificului producției, consumatorii se clasifică în : consumatori industriali și neindustriali.

Din punctul de vedere al valorii puterii absorbite, consumatorii se clasifică în : mari consumatori (putere absorbită peste 50 kW); mici consumatori (putere absorbită sub 50 kW).

Din ambele puncte de vedere, consumatorii se clasifică în : mari consumatori industriali; mari consumatori neindustriali; mici consumatori.

Consumatorii sînt alimentați din rețeaua furnizorului de energie electrică, prin furnizor definindu-se ansamblul instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei electrice. În figura 1.1. este indicat schematic ansamblul furnizor-consumator.

5.1.1. RACORDAREA CONSUMATORULUI LA REȚEAUA FURNIZORULUI

Probleme deosebite în proiectarea instalațiilor electrice, din punctul de vedere al alimentării cu energie electrică, ridică modul de racordare furnizor-consumator. Astfel, în funcție de puterea consumatorului și de nivelul de tensiune necesar, se pot realiza următoarele sisteme de racordare: bransament de joasă tensiune; racord de medie tensiune (cu distribuție în joasă tensiune sau în medie tensiune).

Înainte de a descrie modurile de racordare, este necesar să se definească următoarele noțiuni.

a) *Stația de primire a energiei SP* reprezintă elementul prin care energia electrică este transmisă de la furnizor la consumator (stație de transformare, post de transformare, tablou general, cofret).

b) *Punctul de delimitare PD* reprezintă punctul de separație între furnizor și consumator.

5.1.1.1. **Racordarea prin bransament de joasă tensiune** se realizează prin conectarea directă la rețeaua de alimentare de joasă tensiune a micilor consumatori sau, atunci cînd există rezerve disponibile în rețea, a marilor consumatori neindustriali de puteri reduse. În figura 5.1 este arătat acest mod de racordare.

Stația de primire o constituie cofretul sau firida de bransament (v. subcap. 5.6), iar punctul de delimitare — contorul de măsurare a energiei electrice consumate.

5.1.1.2. **Racordarea prin racord de medie tensiune** se realizează în funcție de puterea consumatorului sau de tensiunea de utilizare, printr-un post sau stație de transformare, putând apare două rezolvări: distribuție în joasă tensiune și distribuție în medie tensiune. În cazul distribuției în joasă tensiune consumatorul este racordat la rețeaua de medie tensiune prin intermediul unui post de transformare alimentat la 5, 6 sau 10 kV, acesta constituind stația de primire (fig. 5.2).

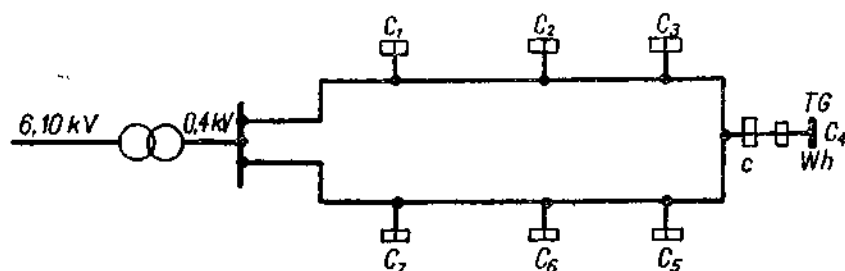


Fig. 5.1. Modul de racordare a consumatorilor prin brânzamente de joasă tensiune: $C_1, C_2 \dots C_7$ — consumatori; c — cofretul consumatorului C_4 (stația de primire); Wh — controlul consumatorului C_4 (punctul de delimitare); TG — tabloul general al consumatorului

Punctul de delimitare poate fi amplasat înainte sau după postul de transformare, în funcție de modul de tarifyare a energiei electrice (tarif unic sau diferențiat lumină-forță).

Acest sistem se poate utiliza la marii consumatori neindustriali și la marii consumatori industriali cu puteri relativ mici ($P < 1 \dots 2$ MW), care au tensiunea de utilizare sub 1 kV.

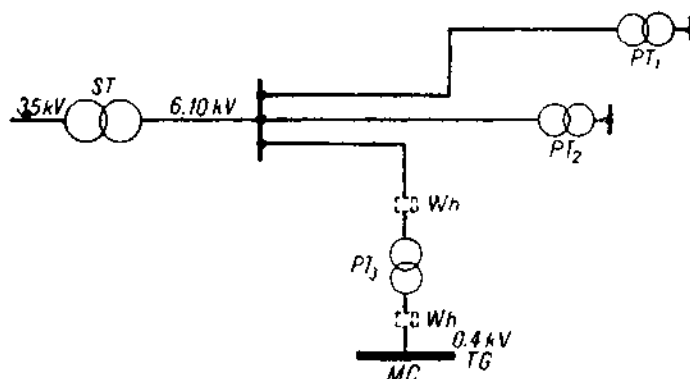


Fig. 5.2. Schemă de racordare a consumatorilor prin racord de medie tensiune cu distribuție în joasă tensiune; ST — stație de transformare; $PT_1, PT_2 \dots$ posturi de transformare; Wh — contorul consumatorului (punctul de delimitare), montat înainte sau după transformator; TG — tabloul general al consumatorului

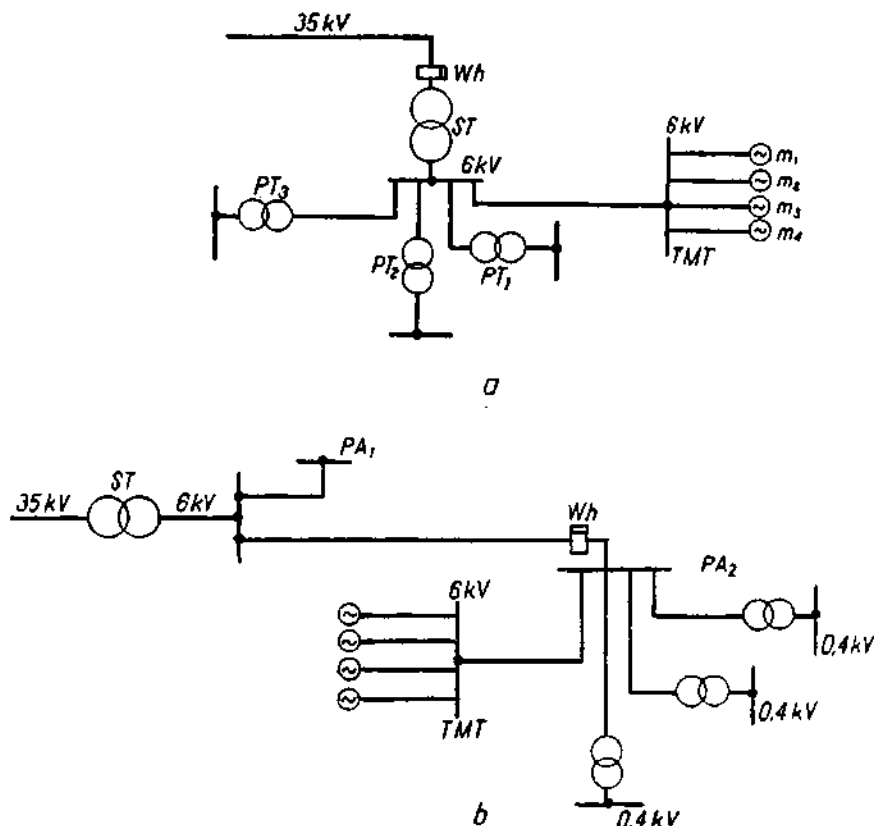


Fig. 5.3. Schemă de racordare a consumatorilor prin racord de medie tensiune cu distribuție în medie tensiune: *ST* — stație de transformare (stație primire); *Wh* — contor (punct separație); *PT*₁, *PT*₂ ... posturi de transformare; *TMT* — tablou medie tensiune; *m*₁ ... *m*₄ — motoare alimentate la medie tensiune; *PA*₁, *PA*₂ — puncte de alimentare; *a* — racordare directă; *b* — racordare prin punct de alimentare

În cazul distribuției în medie tensiune, consumatorul este racordat la rețeaua de medie tensiune printr-o stație de transformare *ST*, figura 5.3, *a* sau un punct de alimentare *PA*, figura 5.3, *b*, care constituie stația de primire *SP*; distribuția în incintă se realizează în medie tensiune.

Punctul de delimitare se găsește în general înaintea stației de primire. Acest mod de racordare se utilizează la marii consumatori industriali cu puteri mari ($P > 1 \dots 2$ MW), când distribuția în incintă se realizează la nivelul tensiunii medii, fie în scopul micșorării pierderilor de tensiune, fie când se folosește tensiunea medie ca tensiune de utilizare.

5.1.2. TARIFAREA ENERGIEI ELECTRICE

Tariful* se stabilește în funcție de următoarele considerente.

a. Numărul de ore de funcționare a puterii maxime absorbite. Dacă numărul de ore de funcționare este mare, tariful este scăzut, dacă numărul de ore este mic tariful este ridicat (necesită pregătirea permanentă a generatoarelor suplimentare de energie electrică pentru a satisface necesitățile de consum).

b. Perioada din cursul zilei în care se produce consumul de energie electrică. Tariful de noapte este scăzut, căci noaptea centralele funcționează subîncărcate. Tariful de seară este ridicat, deoarece necesitățile de consum pot ajunge sau depăși capacitatea de producție a sistemului.

c. Aplatizarea curbilor de sarcină, ameliorarea factorului de putere constituie elemente pozitive în cheltuielile de investiție și exploatare ale instalațiilor de producere, transport și distribuție, contribuind la stabilirea unui tarif scăzut.

d. Factorul de putere influențează asupra tarifului. În capitolul 10 se vor studia efectele negative ale unui factor de putere scăzut asupra instalațiilor electrice. Ținând seama de aceste efecte, se stabilește un factor de putere neutral (0,93—0,95 la tensiuni sub 110 kV și 0,90—0,95 — peste 110 kV). Dacă factorul de putere este sub aceste valori, tariful se majorează, iar dacă are valori mai ridicate, tariful se reduce.

Din punct de vedere al satisfacerii criteriilor amintite, tarifele se clasifică în tarife monome și tarife binome.

5.1.2.1. **Tariful monom** se caracterizează prin aplicarea unei taxe fixe la energia consumată [lei/kWh]. Taxa poate fi unică sau diferențiată (pe tranșe sau pe ore de consum: zi-noapte).

Măsurarea unică și diferențiată pe tranșe se realizează cu contor simplu. Măsurarea diferențiată pe ore de consum se realizează cu contor special, cu cadran dublu și ceas de comutare corespunzătoare perioadelor de tarificare.

Tariful monom cu taxă unică se utilizează la iluminatul general, public, comercial, tracțiunea publică.

Tariful monom cu taxă diferențiată se utilizează în agricultură.

5.1.2.2. **Tariful binom** se caracterizează prin două taxe aplicate consumatorilor: taxă de putere maximă absorbită (lei/kW) și taxă de energie electrică pentru consum (lei/kWh). Scopul acestui tarif este limitarea puterii maxime absorbite în orele de vîrf de consum (seara și dimineața) și aplatizarea curbilor de sarcină.

Tariful binom este specific și stimulator pentru marii consumatori industriali și se aplică acestora în exclusivitate.

* Tariful este taxa ce trebuie plătită de consumator pentru energia electrică consumată.

5.2. REȚELE DE ALIMENTARE ȘI DISTRIBUȚIE LA CONSUMATOR

Rețeaua de distribuție ce se studiază în cadrul cursului este mărginită de un punct situat în aval de punctul de delimitare și de receptoarele consumatorului inclusiv. Se obține astfel domeniul instalațiilor electrice pentru distribuția și alimentarea receptoarelor de lumină și forță. Se poate distinge astfel o rețea de la sursă pînă în incinta construcției și instalațiile electrice interioare de distribuție.

Rețelele de alimentare și distribuție trebuie să îndeplinească următoarele condiții :

- să realizeze alimentarea cu energie electrică în condițiile de siguranță impuse de importanța consumatorului ;
- să fie simple și economice din punct de vedere al investiției și exploatării ;
- să fie selective, asigurînd localizarea defectelor în scopul evitării transmiterii acestora în amonte și provocării de întreruperi în serie (v. cap. 8).

5.2.1. REȚELE DE DISTRIBUȚIE ÎN INCINTĂ PENTRU MARI CONSUMATORI INDUSTRIALI

Un mare consumator industrial se caracterizează prin complexitatea sa, fiind compus din mai mulți consumatori secundari aflați pe teritoriul întreprinderii.

Majoritatea consumatorilor secundari cuprind receptoare de forță alimentate, în general, la tensiunea 380/220 V, iar la puteri foarte mari — la medie tensiune. Există de asemenea receptoare de lumină ce absorb o putere mai mică, tensiunea de distribuție fiind în exclusivitate $3 \times 380/220$ V.

În funcție de întinderea întreprinderii, de puterea consumatorilor secundari și de necesitățile de tensiune, distribuția se poate realiza cu rețele de joasă sau medie tensiune.

5.2.1.1. Rețele de distribuție de joasă tensiune în incintă la marii consumatori industriali se folosesc numai atunci cînd consumatorii secundari au puteri mici (50...100 kW), iar distanțele între secții sînt reduse (circa 50 m).

Din punctul de vedere al modului de alcătuire, rețelele de distribuție de joasă tensiune se clasifică în: rețele radiale, rețele cu linii principale (magistrale) și rețele simplu buclate.

Stațiile de primire în cadrul incintei consumatorilor, cît și tablourile principale (stațiile de primire ale consumatorilor secundari) trebuie să fie amplasate în centrul de greutate al sarcinilor, în scopul echilibrării pierderilor de putere și tensiune.

În figura 5.4 este reprezentată o rețea de distribuție radială. Acest tip de rețea prezintă următoarele caracteristici: permite o exploatare simplă, fiind ușor controlabilă; necesită investiții relativ mari; este nesigură în funcționare, la avarie necesitînd o durată mare pentru remedierea defectelor; este rigidă, nepermițînd modificarea repartizării sarcinilor decît cu investiții importante, deci

nu se pretează schimbărilor ce ar putea interveni, de exemplu, în profilul unei secții de fabricație sau schimbării unor mașini.

Rețelele de distribuție cu linii principale (fig. 5.5) față de rețeaua radială prezintă avantajul elasticității (adaptare la diverse situații) și economii din

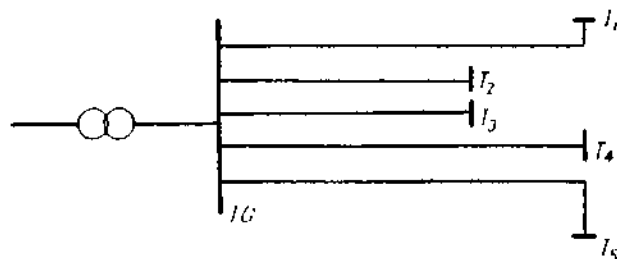


Fig. 5.4. Rețea de distribuție radială de joasă tensiune:
TG — tablou general; $T_1 \dots T_5$ — tablouri principale

punct de vedere al investiției. În caz de defect în linia secundară, aceasta se izolează ușor, neafectând linia principală. Defectul la linia principală afectează însă toți consumatorii.

Rețelele de distribuție simplu buclate (fig. 5.6) asigură cerințele în funcționare ale consumatorilor de categoria I (alimentare permanentă cu energie elec-

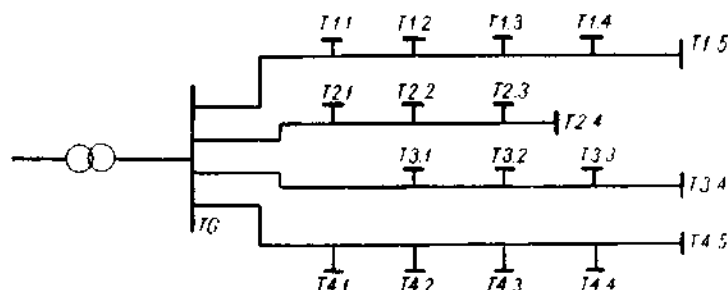


Fig. 5.5. Rețea de distribuție de joasă tensiune cu linii principale:
TG — tablou general; $T_{11}, T_{12} \dots$ tablouri principale

trică). Se observă că în caz de defect, prin întreruperea unei porțiuni de linie, alimentarea se poate realiza din celălalt sens al buclei. Aceleași măsuri de siguranță trebuie luate și în amonte, pe rețeaua de medie tensiune, unde alimentarea trebuie să se facă din două surse independente (două surse alimentate de la două stații de transformare diferite, conectate prin linii diferite la două centrale diferite, sau la aceeași centrală dar la bare colectoare diferite, racordate la generatoare diferite).

5.2.1.2. Rețele de distribuție de medie tensiune în incintă la marii consumatori industriali. Din punct de vedere al schemei de conexiuni, rețelele de distribuție de medie tensiune la marii consumatori industriali se clasifică după cum urmează.

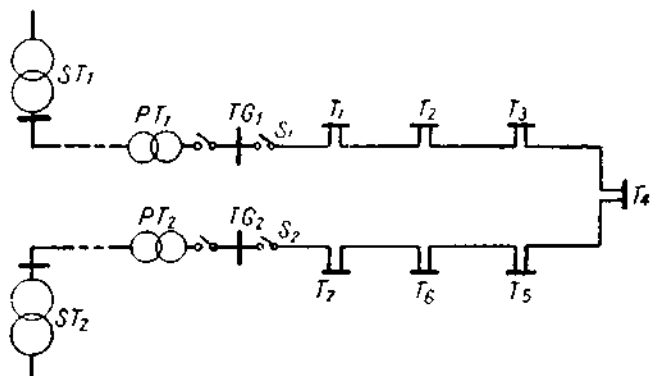


Fig. 5.6. Rețea de distribuție de joasă tensiune simplu buclată: TG_1 , TG_2 — tablouri generale; $T_1 \dots T_7$ — tablouri secundare; ST_1 , ST_2 — stații de transformare; PT_1 , PT_2 — posturi de transformare; S_1 , S_2 — separatoare

1. Rețele de distribuție directe, în care posturile de transformare sînt alimentate direct de la stațiile de transformare prin distribuitori (fig. 5.7).
2. Rețele de distribuție prevăzute cu puncte de alimentare PA . Punctele de alimentare (cap. 7) sînt stații de conexiuni legate prin fideri la stațiile de transformare și prin distribuitori la posturile de transformare (fig. 5.8).

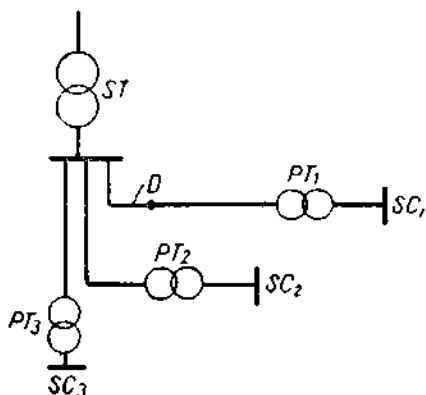


Fig. 5.7. Rețea de distribuție de medie tensiune în incintă la marii consumatori industriali: ST — stație de transformare; D — distribuitor; $PT_1 \dots PT_3$ — posturi de transformare; $SC_1 \dots SC_3$ — consumatori secundari

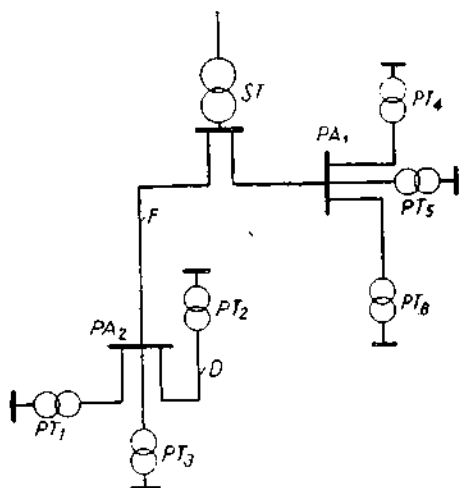


Fig. 5.8. Rețea de distribuție de medie tensiune cu puncte de alimentare la marii consumatori industriali: ST — stație de transformare; PA_1 , PA_2 — puncte de alimentare; $PT_1 \dots PT_8$ — posturi de transformare; F — fider; D — distribuitor

În continuare se dau câteva soluții de realizare a rețelilor de alimentare : zona stație de transformare — punct de alimentare.

a. *Rețea radială simplă* (fig. 5.9) care poate fi utilizată numai pentru alimentarea consumatorilor de categoria III, datorită duratei mari necesare pentru remedierea defectelor (înlocuirea cablului sau liniei).

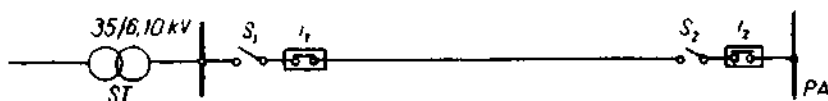


Fig. 5.9. Rețea radială simplă, porțiunea stație de transformare ST — punct de alimentare PA : S_1, S_2 — separatoare ; I_1, I_2 — întreruptoare

b. *Rețea radială dublă* (fig. 5.10) pentru consumatorii de categoria II. În caz de defect pe unul din fideri, acesta este întrerupt pînă la înlăturarea defectului, alimentarea realizîndu-se prin celălalt fider. Fiecare fider poate prelua întreaga sarcină.

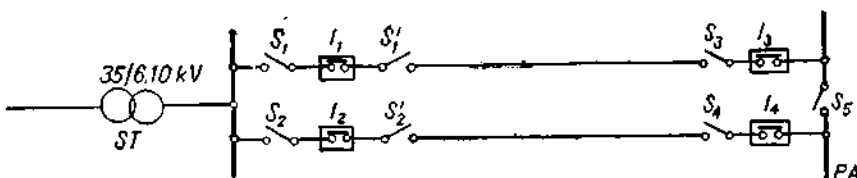


Fig. 5.10. Rețea radială dublă, porțiunea stație de transformare ST — punct de alimentare PA : $S_1 \dots S_4$ — separatoare ; $I_1 \dots I_4$ — întreruptoare

c. *Rețea radială dublă cu AAR** (fig. 5.11). Se utilizează pentru consumatori de categoria II, cu siguranță mărită. Se observă că barele punctului de alimentare sînt secționate longitudinal prin întreruptorul C , deschis în funcționare normală.

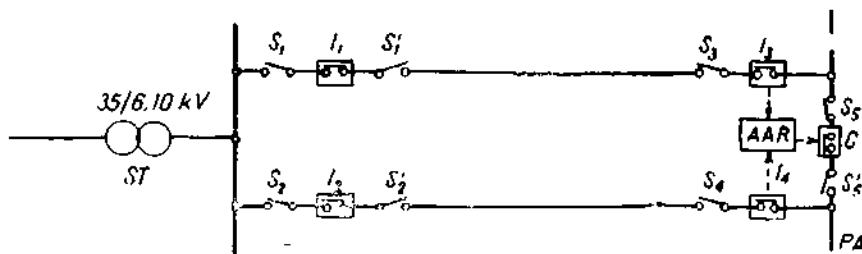


Fig. 5.11. Rețea radială dublă cu AAR, porțiunea stație de transformare ST — punct de alimentare PA : $S_1, S_1' \dots S_5$ — separatoare ; $I_1 \dots I_4$ — întreruptoare ; C — cuplă (întreruptor)

Sistemul este prevăzut cu AAR, în așa fel încît la dispariția tensiunii pe una din secțiunile barei, AAR funcționează, asigurînd alimentarea permanentă.

* Sistem AAR : anclanșare automată a rezervei (v. par. 5.2.4.1.)

O mărire a siguranței în exploatare se poate obține prin secționarea barei stației de transformare ST și alimentarea fiderilor de la cele două secții astfel obținute.

O siguranță și mai ridicată se poate obține racordând punctul de alimentare la două stații diferite (fig. 5.12).

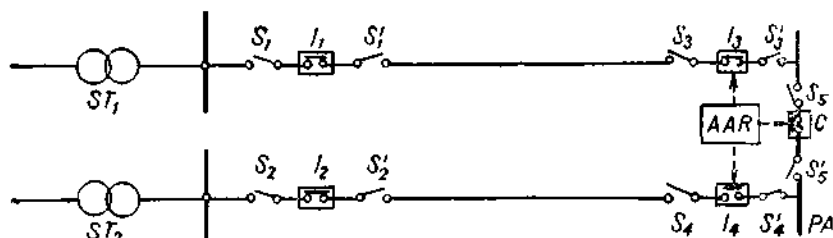


Fig. 5.12. Rețea radială dublă, porțiunea stație de transformare ST — puncte de alimentare PA_1, PA_2 ; $S_1 \dots S_5$ — separatoare; $I_1 \dots I_4$ — întreruptoare; C — cuplă

d. *Rețea buclată simplă.* Dacă alimentarea cu energie este realizată cu mai multe puncte de alimentare, atunci se poate obține o rețea buclată (fig. 5.13), în care fiecare fider poate prelua întreaga sarcină a ambelor puncte. Legătura dintre punctele de alimentare poate fi prevăzută cu AAR . Și în această soluție, dimensionarea fiderilor trebuie făcută la întreaga capacitate.

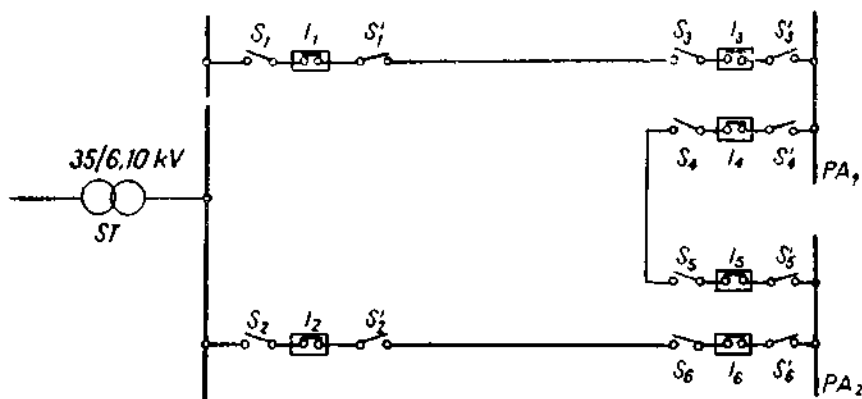


Fig. 5.13. Rețea buclată simplă, porțiunea stație de transformare ST — puncte de alimentare PA_1, PA_2 ; $S_1 \dots S_6$ — separatoare; $I_1 \dots I_6$ — întreruptoare

e. *Rețea buclată economică (sistem tripletă)* (fig. 5.14). Fiecare fider se dimensionează la 50% din sarcina totală, în așa fel încât la defect pe unul din fideri, ceilalți doi pot prelua întreaga sarcină (fig. 5.14). Soluția este economică dacă distanța dintre punctele de alimentare nu este prea mare. Pentru siguranță în funcționare, legăturile între punctele de alimentare se pot prevedea cu AAR .

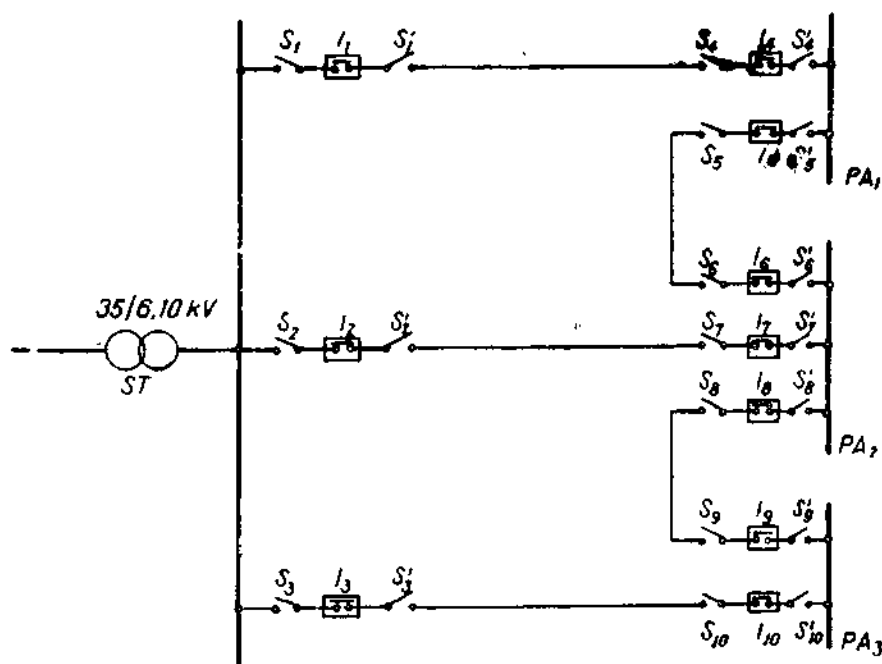


Fig. 5.14. Rețea buclată economic (tripletă), porțiunea stație de transformare ST — puncte de alimentare $PA_1 \dots PA_3$; $S_1 \dots S_{10}$ — separatoare; $I_1 \dots I_{10}$ — întreruptoare

Zona punct de alimentare — post de transformare se rezolvă analog.

1) Schema radială simplă utilizată la consumatorii de categoria III — identică cu schema din figura 5.9.

2) Schemele radiale duble (fig. 5.15) utilizate pentru consumatorii din categoriile I și II, cu alimentarea posturilor de transformare din două puncte de alimentare, care la categoria I pot fi racordate la două surse independente.

3) Schema cu distribuție din linia principală (magistrală) alimentată la un capăt, pentru consumatorii de categoria III (fig. 5.16).

4) Schema cu linie principală (magistrală) alimentată la ambele capete, pentru consumatorii din categoriile I și II (fig. 5.17). La consumatorii din categoria I punctele de alimentare sînt conectate la două surse independente.

5) Schema buclată simplă (inelară), dacă alimentarea se face de la același punct de alimentare (fig. 5.18), se utilizează pentru consumatorii de categoria II.

6) Schema cu linie principală (magistrală) dublă, alimentată dintr-un punct de alimentare (fig. 5.19, a), pentru consumatorii din categoria II, și din două puncte de alimentare (fig. 5.19, b) pentru consumatorii din categoria I.

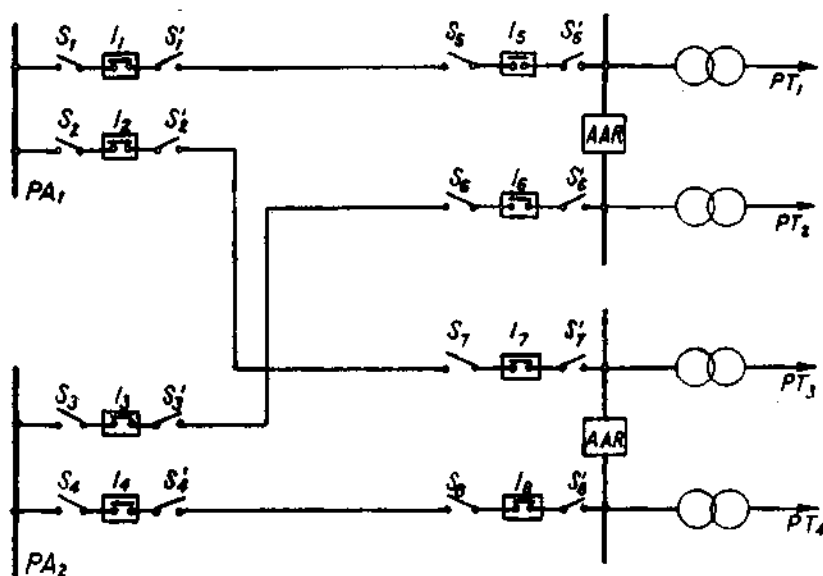


Fig. 5.15. Rețea radială dublă, porțiunea puncte de alimentare PA_1, PA_2 — posturi de transformare $PT_1 \dots PT_4$: $S_1 \dots S_8'$ — separatoare; $I_1 \dots I_8$ — intreruptoare

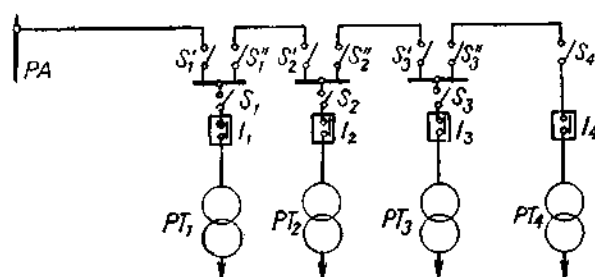


Fig. 5.16. Rețea cu linie principală alimentată la un capăt, porțiunea punct de alimentare PA — posturi de transformare $PT_1 \dots PT_4$: $S_1 \dots S_4$ — separatoare; $I_1 \dots I_4$ — intreruptoare

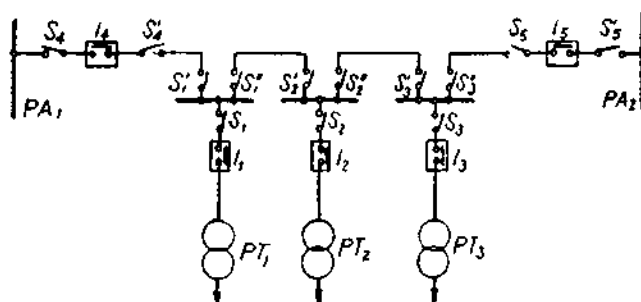


Fig. 5.17. Rețea cu linie principală alimentată la ambele capete, porțiunea puncte de alimentare PA_1 , PA_2 — posturi de transformare $PT_1 \dots PT_3$; $S_1 \dots S_5'$ — separatoare; $I_1 \dots I_3$ — întreruptoare

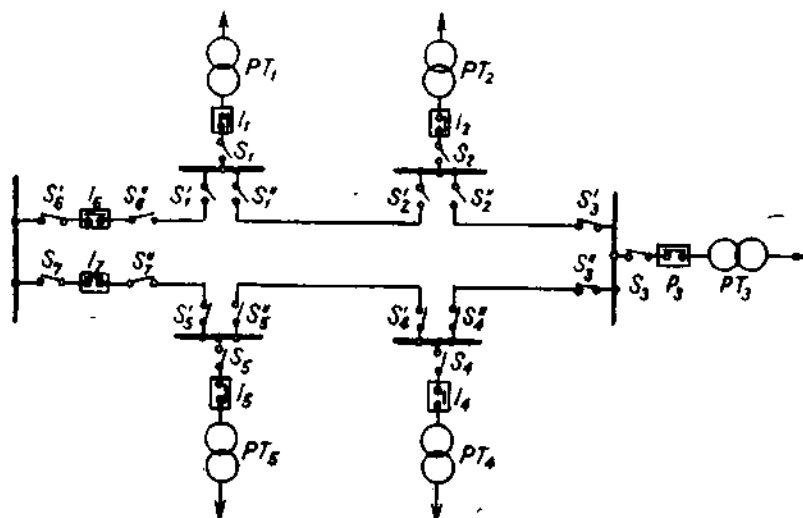


Fig. 5.18. Rețea buclată simplu, porțiunea punct de alimentare PA — posturi de transformare $PT_1 \dots PT_5$; $S_1 \dots S_5$ — separatoare; $I_1 \dots I_5$ — întreruptoare

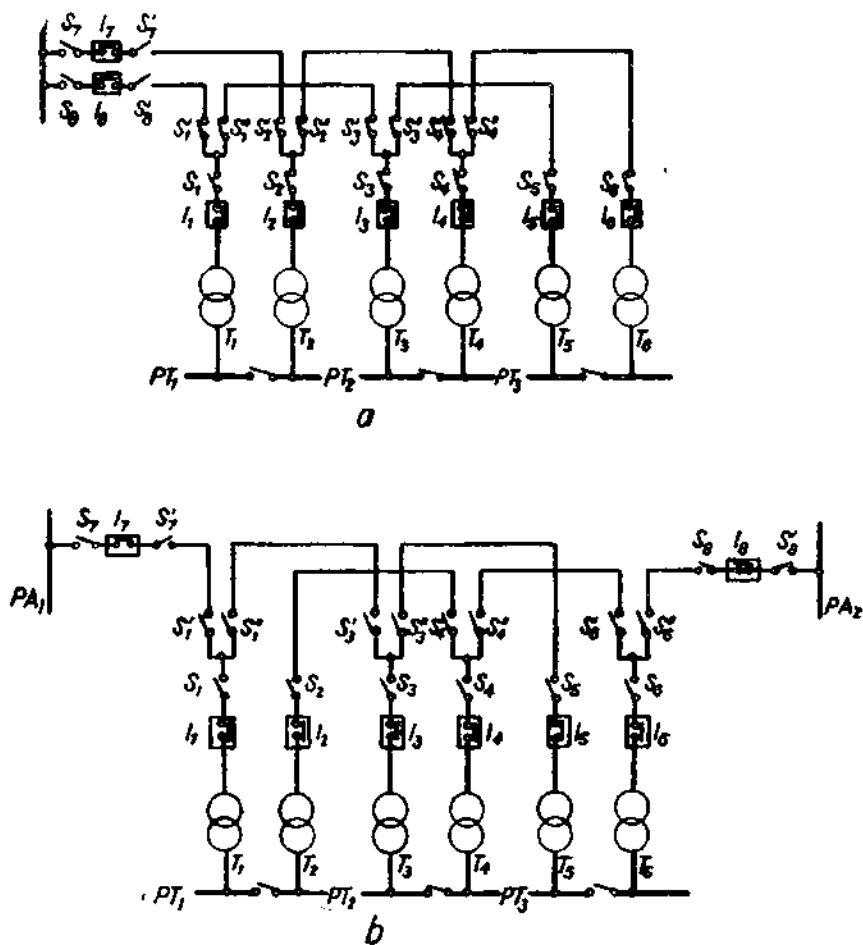


Fig. 5.19. Rețele cu siguranță mărită, porțiunea punct de alimentare PA — posturi de transformare $PT_1, PT_2, \dots$: a — rețea cu linie principală dublă alimentată la un capăt ; b — rețea alimentată la ambele capete. S-au notat :
 $S_1, S_2, \dots$ — separatoare ; $I_1, I_2, \dots$ — intreruptoare ;
 $T_1, T_2, \dots$ — transformatoare

5.2.2. REȚELE DE DISTRIBUȚIE PENTRU MARI CONSUMATORI NEINDUSTRIALI (CONSTRUCȚII CIVILE)

Rețelele de distribuție în construcțiile civile se realizează în joasă tensiune, dată fiind întinderea relativ redusă a acestor consumatori.

Probleme speciale apar la racordarea consumatorilor de categoriile II și I, ca mari consumatori neindustriali sau similari cu marii consumatori industriali, ca teatre, cinematografe, studiouri de radio-TV, săli de sporturi etc.

Astfel, consumatorii de categoria II, ca săli de spectacol obișnuite, cinematografe, spitale, policlinici, case de cultură, este necesar să fie prevăzuți cu o alimentare cu siguranță mărită pentru tablourile generale (postul de transformare să fie racordat la o rețea de medie tensiune buclată sau alimentată la două capete), iar receptoarele vitale să aibă o alimentare de categoria I. În categoria receptoarelor vitale se înscriu iluminatul de siguranță și continuarea lucrului, stația de hidrofor de incendiu, ventilația de avarie pentru degajări toxice etc. Astfel de receptoare necesită o alimentare permanentă din două surse independente.

5.2.2.1. Racordarea micilor consumatori și a marilor consumatori neindustriali cu puteri mici* (50...100 kW), dacă situația energetică locală prezintă rezerve, se poate realiza prin legarea directă la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (fig. 5.1).

Trebuie menționat că, în general, alimentarea cu energie se realizează dintr-o rețea de joasă tensiune de tip linie principală (magistrală), alimentată la un capăt sau buclată simplu. În această situație se înscriu blocurile de locuințe, magazinele și complexele comerciale din ansamblurile de locuințe, școlile, creșele, grădinițele etc.

Dacă în cadrul unui astfel de consumator există receptoare de categoria I, ca stații de pompare sau hidrofor de incendiu, atunci se realizează numai pentru acestea o dublă alimentare, eventual cu AAR (fig. 5.19).

5.2.2.2. Racordarea marilor consumatori neindustriali din categoria III cu puteri mari se poate realiza ca în figura 5.20. Alimentarea se face printr-un post de transformare PT_3 , conectat în schemă radială. Măsurarea energiei se realizează, în general, la joasă tensiune, cu bransamente separate de lumină și forță, impuse de siguranța în funcționare și de condițiile de tarificare.

Dacă în cadrul construcției sînt consumatori de categoria I, atunci rezolvarea alimentării se poate face ca în figura 5.19.

5.2.2.3. Racordarea marilor consumatori neindustriali din categoria II se caracterizează prin necesitatea prevederii posibilităților de remediere rapidă a eventualelor defecțiuni (cel mult 2 h). Trebuie deci să existe în permanență un transformator în rezervă rece**, care să poată prelua întreaga sarcină, iar la medie tensiune, alimentarea să fie asigurată din două puncte de alimentare. În figura 5.20 este dat un exemplu de rezolvare.

* Consumatorii se încadrează în categoria III.

** Dacă transformatorul de rezervă nu se află sub tensiune, rezerva se numește „rece“ iar dacă se află sub tensiune — „caldă“.

Trebuie subliniat că, pentru evitarea punerii în paralel a celor două surse, întreruptoarele I_1 și I_2 sînt interblocate (cînd I_1 este închis, I_2 nu poate fi închis și reciproc).

Dacă în aceeași construcție există receptoare vitale de categoria I, atunci alimentarea acestora se realizează din amonte întreruptoarelor I_1 și I_2 , prin legături directe prevăzute cu AAR, cu condiția ca punctele de alimentare (P_{A1} și P_{A2}) să fie racordate la surse independente.

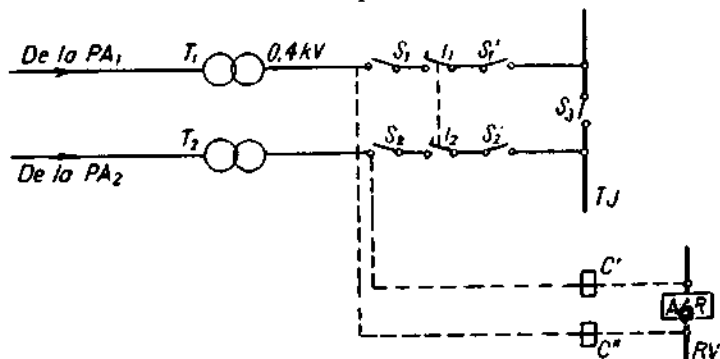


Fig. 5.20. Racordare a unui receptor vital RV de categoria I în cadrul unei rețele de joasă tensiune de categoria III (joasă tensiune): T_1, T_2 — transformatoare alimentate din surse independente; S_1, S_2 — separatoare; I_1, I_2 — întreruptoare; TJ — tablou joasă tensiune post de transformare; C'_1, C'_2 — cofrete de racord diferite pentru cele două surse

5.2.2.4. Racordarea marilor consumatori neindustriali din categoria I cere condiții suplimentare de siguranță.

O schemă simplă obținută din schema precedentă este alimentarea dublă cu bară neseccionată (fig. 5.21), în care transformatorul T_2 se află în rezervă

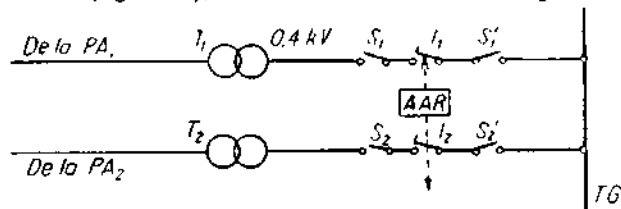


Fig. 5.21. Schemă de racordare a marilor consumatori neindustriali de categoria I: $S_1, S_2 \dots$ separatoare; I_1, I_2 — întreruptoare; T_1, T_2 — transformatoare

caldă, iar comutarea pe sursa de rezervă se face printr-un sistem AAR, practic alimentarea fiind asigurată permanent, fără întreruperi.

Barele tabloului general din figura 5.21 sînt alimentate în mod normal din sursa I, iar în momentul cînd aceasta a căzut, sistemul AAR face comutarea automată pe sursa II, revenirea realizîndu-se prin comandă manuală.

Un alt tip de rezolvare este schema cu dublă alimentare, bară secționată și cuplă* între cele două secțiuni de bare (fig. 5.22). Între cele două surse independente și cuplă există o legătură AAR care asigură o funcționare permanentă schemei astfel: în funcționare normală cele două transformatoare alimentează independent secțiunile de bare, fiind încărcate cu 50% din sarcina nominală (cupla C_1 este deschisă); la întreruperea unei surse cupla se închide și un singur transformator preia întreaga sarcină (100%). Schema este mai economică decât precedenta, în care un transformator funcționa în permanență în gol.

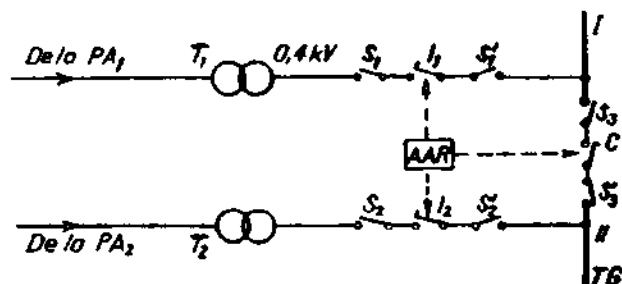


Fig. 5.22. Schemă de racordare a marilor consumatori neindustriali de categoria I: $S_1, S_2 \dots$ separatoare; $I_1, I_2 \dots$ întreruptoare; C — cuplă; TG — tablou general

Secționarea barelor este necesară pentru separarea lumină-forță, pentru izolare la apariția unui defect pe una din secțiuni, pentru încărcarea uniformă a transformatoarelor. Pentru receptoarele vitale alimentarea se va face din ambele secțiuni ale barelor, eventual cu AAR local.

Un alt tip de schemă utilizată pentru consumatorii din categoria I, cu siguranță mărită în exploatare, este aceea arătată în figura 5.23, cu bară dublă secționată, alimentare din două surse principale independente (din rețeaua furnizorului) și alimentare din două surse de rezervă independente de rețea, grup electrogen cu motor cu explozie sau diesel (vezi cap. 9) cu intrare în funcțiune automată, prin pornitoarele automate A_1, A_2 .

La întreruperea uneia din sursele de rețea, instalația funcționează analog cu cea precedentă, fiind dimensionată în aceleași condiții. La întreruperea celor două surse principale (I și II) instalația funcționează astfel: se trece pe sursele de alimentare independente de rețea (grupurile electrogene G_1 și G_2), care însă nu pot prelua întreaga sarcină a consumatorului, ci numai cea aferentă receptoarelor vitale (F și L). În această situație, receptoarele secundare

* Cuplă: întreruptor montat direct la bare.

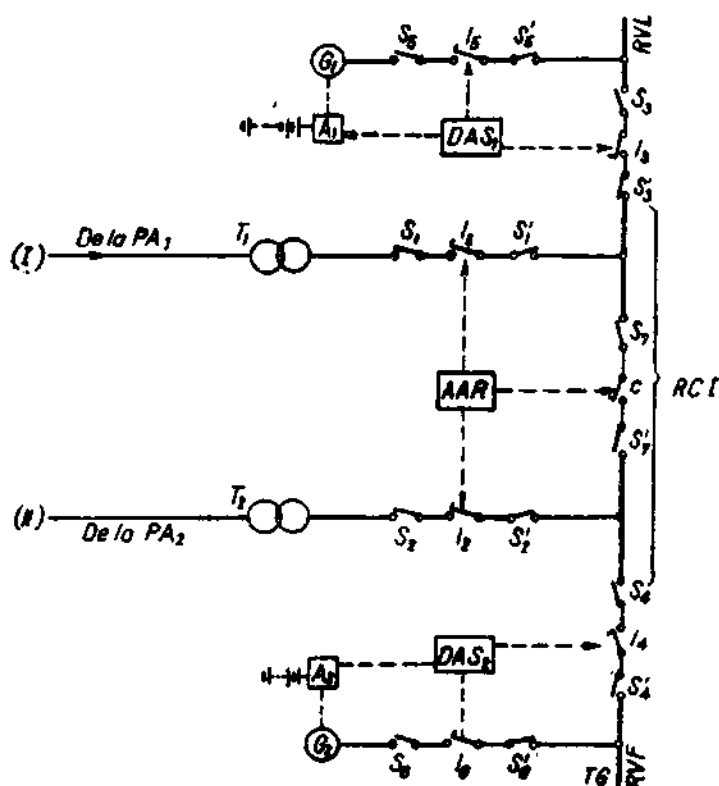


Fig. 5.23. Schemă de racordare a marilor consumatori neindustriali de categoria I, cu siguranță mărită în funcționare: S_1, S_2 — separatoare; $I_1, I_2 \dots$ — întreruptoare; C — cuplă; T_1, T_2 — transformatoare; G_1, G_2 — grupuri electrogene; A_1, A_2 — pornitoare automate pentru grupuri electrogene cu alimentare din bateriile de acumuloare; DAS_1, DAS_2 — dispozitive de declanșare automată de sacrificiu; RVL — receptori vitali forță; RVI — receptori vitali lumină; RCI — receptori de categoria I.

sînt sacrificate prin intermediul unui sistem automat DAS^* . Sistemul comandă deschiderea întreruptoarelor I_3 și I_4 , simultan pornirea automată a grupurilor G_1 și G_2 prin intermediul pornitoarelor automate A_1 și A_2 (alimentate din baterii de acumuloare necesare pornirii) și închiderea întreruptoarelor I_5 și I_6 , realizînd alimentarea receptoarelor principale vitale după un timp foarte scurt (7—30 s).

Schema complexă cu AAR și DAS este justificată numai la consumatorii din categoria I, cu siguranță maximă de funcționare (teatre importante, studiouri radio-TV, săli de spectacole cu mari aglomerări de persoane etc.).

* DAS : sistem de declanșare automată de sacrificiu.

5.2.3. REȚELE INTERIOARE DE JOASĂ TENSIUNE PENTRU DISTRIBUȚIE DE LUMINĂ ȘI FORȚĂ ÎN CONSTRUCȚIILE CIVILE ȘI INDUSTRIALE

De la barele tabloului general, în funcție de importanța consumatorului, destinația construcției și întinderea ei, se realizează o rețea de distribuție de joasă tensiune, reprezentată printr-o schemă de distribuție care are ca scop atât alimentarea cea mai simplă și sigură a receptoarelor, cât și exploatarea optimă a instalațiilor electrice de joasă tensiune. Aceste rețele interioare se reprezintă în mod simplificat sub forma unor scheme de distribuție.

Din punctul de vedere al locului în care sînt considerate, rețelele și deci schemele de distribuție vor fi:

- scheme de distribuție generale, cuprinzînd schema rețelei de la punctul de delimitare față de furnizor și pînă la ultimul tablou secundar;
- scheme de distribuție secundare, cuprinzînd schema rețelei de la intrarea în tabloul secundar și pînă la ultimul receptor.

Schemele generale se clasifică astfel:

- a. scheme generale de distribuție radiale simple (arborescente);
- b. scheme generale de distribuție cu coloane magistrale;
- c. scheme generale de distribuție în cascadă;
- d. scheme generale de distribuție radiale duble;
- e. scheme generale de distribuție cu alimentare dublă (coloane magistrale sau buclate simple).

Din punctul de vedere al receptoarelor pe care le servesc, schemele se pot clasifica astfel: scheme de distribuție pentru receptoare de lumină și prize, scheme de forță, scheme mixte.

5.2.3.1. Schemele generale de distribuție se proiectează în funcție de considerentele funcționale și de siguranță.

Schemele de lumină sau forță separate sînt utilizate atunci cînd tarifarea se face separat sau cînd receptoarele de forță ar putea provoca, prin pierderi de tensiune, scăderea nepermisă a tensiunii și deci a fluxului luminos în instalațiile de lumină.

a. *Schema generală de distribuție radială simplă* este tipul cel mai utilizat, datorită simplității și clarității în execuție și exploatare. În figura 5.24 se prezintă alcătuirea unei scheme radiale simple de tipul cel mai general. Distribuția se face de la tabloul general TG prin coloane*, principale, la tablourile principale TP_1, TP_2, TP_3 , iar de la acestea, prin coloane secundare la tablourile secundare $TS_1 \dots TS_6$, la care se racordează prin circuite** receptoarele de lumină și forță.

Fiecare circuit sau coloană, la plecarea din tabloul de distribuție, trebuie asigurat cu dispozitive de protecție (în mod curent — siguranțe fuzibile).

Coloanele principale sînt în general trifazate, deoarece la puterile relativ mari ce apar, transportul energiei în sistem monofazat este neeconomic. Coloa-

* Coloană: ansamblul elementelor conducătoare și de protecție care alimentează cu energie electrică un tablou de distribuție.

** Circuit: ansamblul elementelor conducătoare și de protecție care alimentează cu energie electrică receptoarele (lumină, prize sau forță).

nele secundare, ținînd seama de același considerent, pot fi monofazate sau trifazate. Folosirea coloanelor trifazate nu este necesară, din punctul de vedere al pierderilor de tensiune, dacă curentul nu depășește valoarea limită de 30 A.

La schemele aferente construcțiilor mici (magazine, creșe, grădinițe, școli, ateliere mici etc.) tablourile de distribuție principale nu sînt necesare, tablourile secundare alimentîndu-se direct din tabloul general.

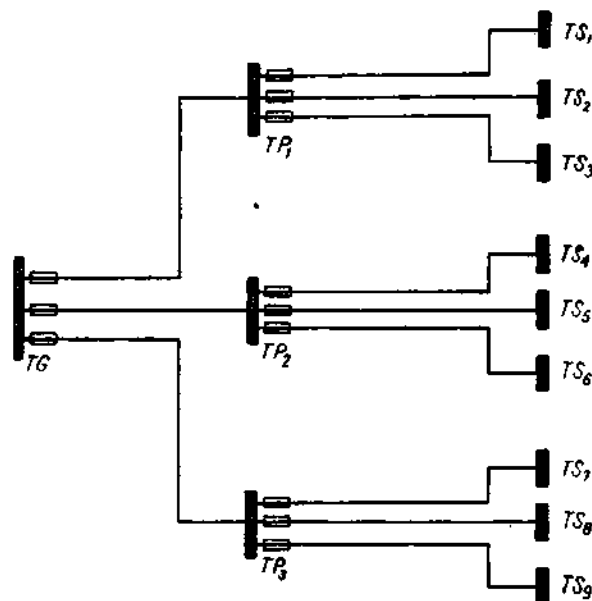


Fig. 5.24. Schemă generală de distribuție radială simplă: TG — tablou general; TP₁, TP₂, TP₃ — tablouri principale; TS₁, TS₂ ... tablouri secundare

b. Schema rețelei generale de distribuție cu coloană magistrală (fig. 5.25) prezintă avantajul unei distribuții economice, prin utilizarea unei singure coloane pentru un grup de tablouri, soluție admisibilă acolo unde nu intervin considerente de siguranță în exploatare. În scopul selectării defectelor, derivațiile la tablourile secundare se asigură cu siguranțe fuzibile. Pentru exploatare, în scopul izolării, tablourile se echipează cu întrerupătoare cu acționare manuală.

Deoarece coloanele de secțiuni mari implică dificultăți constructive (diametre mari pentru tuburile de protecție), este necesar ca intensitatea curentului în coloană să fie de cel mult 60...100 A.

c. Schema generală de distribuție în cascadă (fig. 5.26) este economică, dar nu prezintă siguranță în funcționare. Un defect (scurtcircuit, întrerupere) pe coloana lui TS₁ (punctul K) provoacă scoaterea din funcțiune și a tablourilor TS₂, TS₃.

Caracteristicile schemei în cascadă fac ca utilizarea ei să fie rațională în cazurile în care nu se cere un grad ridicat de siguranță în funcționare (cat. III) și unde tablourile TS_1 și TS_4 sînt depărtate de tabloul general (amplasate în corpuri de clădiri diferite)

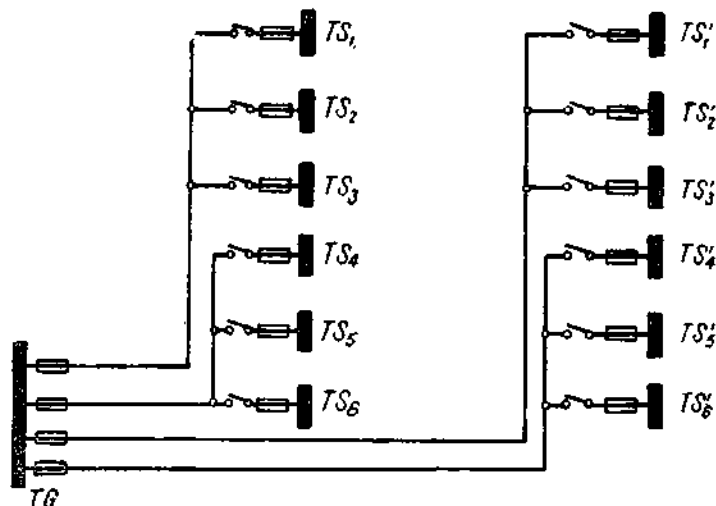


Fig. 5.25. Schemă generală de distribuție cu coloane magistrale :
TG — tablou general ; $TS_1, TS_2 \dots$ tablouri secundare

d. Schema generală de distribuție radială dublă (fig. 5.27) se utilizează numai în cazuri particulare pentru alimentarea cu energie electrică a unor consumatori vitali: stații de pompare sau hidrofor de incendiu cu pompă de rezervă, ventilație de avarie sau alți consumatori a căror întrerupere ar putea provoca pagube sau produce victime.

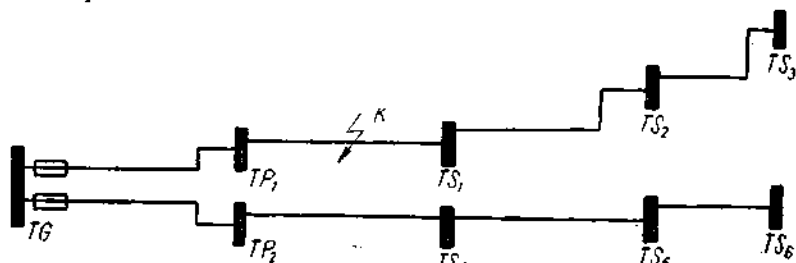


Fig. 5.26. Schemă generală de distribuție în cascadă : TG — tablou general ; TP_1, TP_2 — tablouri principale ; $TS_1, TS_2 \dots$ — tablouri secundare

Comutatorul C cu acționare manuală și cu poziție sau-sau* poate fi înlocuit cu comutator AAR , atunci când este necesar un grad maxim de siguranță în alimentare.

* Comutatorul „sau-sau” este un comutator cu două poziții (sau sursa I — sau sursa II) fără poziție intermediară de zero.

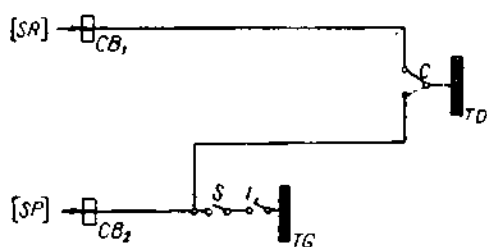


Fig. 5.27. Schemă de distribuție radială dublă: CB_1 , CB_2 — cofrete branșament; C — comutator sau-sau; S — separator; I — întrerupător

gistrală și comutare locală la tablourile secundare, pentru receptoarele care necesită siguranță mărită.

În scheme mai pretentioase, comutatoarele $C_1 \dots C_8$ pot fi de tip automat (AAR); siguranțele montate la fiecare tablou au rolul de localizare a defectului.

Un alt tip de schemă este cea buclată simplă reprezentată în figura 5.28, b.

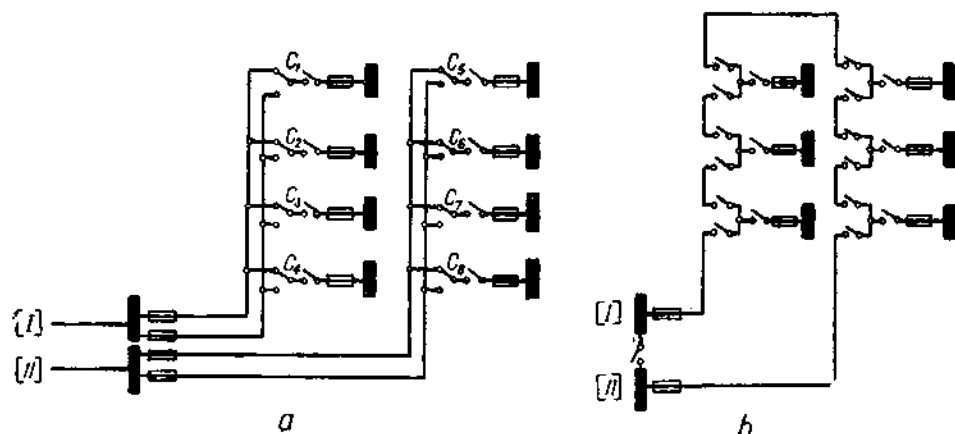


Fig. 5.28. Scheme generale de distribuție cu siguranță mărită: a — schemă generală cu distribuție în coloană magistrală alimentată la ambele capete; $C_1, C_2 \dots$ comutatoare sau-sau; b — schemă generală de distribuție buclată simplă

Întreruptoarele prevăzute la tablouri sînt închise în funcționare normală. La producerea unei defecțiuni se izolează porțiunea de coloană defectă și alimentarea se face pe cealaltă parte, cu o pierdere de tensiune mai mare decît cea normală.

5.2.3.2. Schemele rețelelor secundare de distribuție reprezintă de fapt o porțiune a schemei generale, ce se va detalia în cele ce urmează, în scopul cunoașterii modului de racordare a receptoarelor la rețeaua de distribuție interioară.

e. Schema generală de distribuție cu alimentare dublă în coloană magistrală și schema buclată simplă sînt utilizate la receptoare care necesită o alimentare permanentă cu energie electrică (instituții care lucrează în trei schimburi, redacțiile unor cotidiene importante, studiouri radio-TV etc.).

În figura 5.28, a este dată o astfel de schemă cu alimentare la ambele capete, cu distribuție în coloană ma-

A. Schema rețelei secundare pentru receptoarele de lumină și prize reprezintă rețeaua secundară pentru alimentarea receptoarelor respective. În figura 5.29 este dat un exemplu de schemă simplă, care prezintă următoarele caracteristici generale.

— Circuitele de lumină sînt separate de cele de prize, deoarece receptoarele de tip priză, prin puterile și diversitatea lor, se pot defecta frecvent (apar supra-

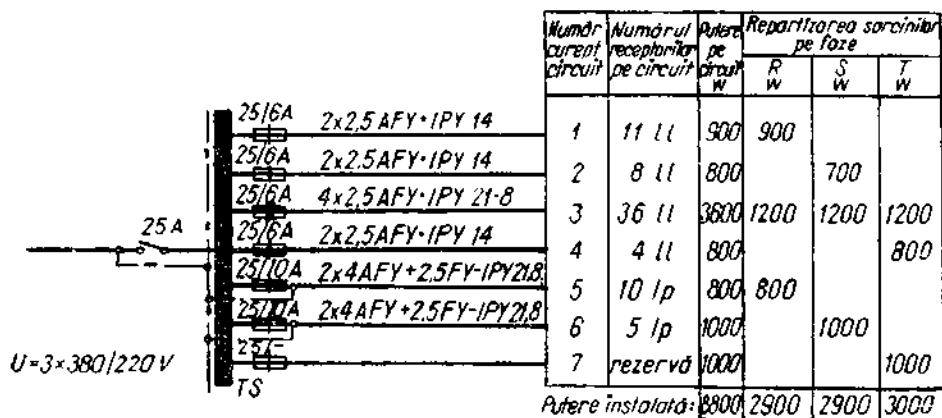


Fig. 5.29. Schema rețelei secundare de distribuție de lumină : TS — tablou secundar

sarcini) și produc perturbații la recepțiile radio și televiziune prin arcurile electrice la conectări și deconectări, prin caracteristicile unor aparate etc. Circuitele de lumină prezintă defecțiuni rare, sarcina fiind constantă. Pentru locuințele cu confort redus sau construcții mici și izolate se pot utiliza și circuite comune.

— Asigurarea circuitelor se poate face cu siguranțe cu fir fuzibil sau cu microîntreruptoare automate (elemente automate), prevăzute cu relee de protecție cu caracteristică limitat dependentă de curent. Pentru siguranța în funcționare a consumatorilor importanți sau în clădirile în care se găsesc un număr mare de persoane se prevăd elemente automate.

— Asigurarea circuitelor se poate face, fie pe fază și nul, fie exclusiv pe fază. Asigurarea pe fază este suficientă din punctul de vedere al protecției la supra-curenți, izolarea circuitelor la defect producându-se prin topirea siguranței de pe fază. Asigurarea nulului este dictată de necesitățile de protecția omului. Astfel pot apare accidente la execuții greșite în condiții de inversare a conductorului de fază cu cel de nul când se fac reparații. Ținând seama de aceste considerente, la consumatorii ce sînt servii de personal de întreținere calificat, asigurarea se face numai pe fază, iar pentru ceilalți consumatori (locuințe, creșe, grădinițe, școli mici) asigurarea circuitelor se realizează pe fază și nul.

— Circuitele de lumină pot fi monofazate sau trifazate, în funcție de puterea cerută de receptor. În general, încărcarea pe circuit se ia în așa fel încît secțiunea să nu depășească 2,5 mm², la secțiuni mai mari apărînd dificultăți de montaj (realizarea legăturilor la borne).

La circuitele trifazate, pentru a nu depăși secțiunile uzuale, se pot monta cel mult 30 corpuri de iluminat pe o fază.

La locuințe, încărcările pe circuitele de lumină și prize sînt limitate: astfel, la lumină limita este de 12 corpuri de iluminat și 1 000 W pe un circuit, iar la prize — 8 receptoare pe circuit (încărcarea medie se ia 800 W dacă receptoarele nu sînt nominalizate).

La locuințele mici (apartamente de cel mult două camere) și cu o putere instalată redusă (sub 1 300 W) se utilizează din considerente economice o instalație de tip *mononul*, cu faze separate de lumină și prize, dar cu nulul comun (fig. 5.30).

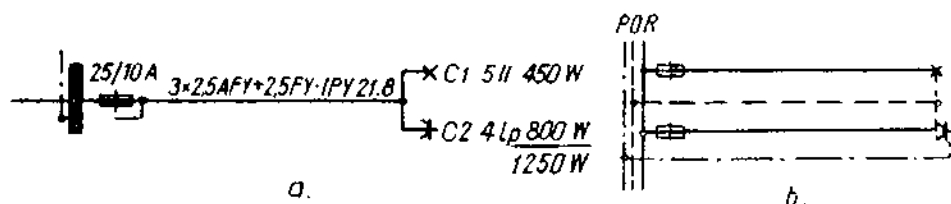


Fig. 5.30. Schema secundară de distribuție de tip mononul: a — schemă monofilară; b — schemă multifilară

În ipoteza alimentării trifazate a tablourilor secundare este necesar ca sarcinile să fie repartizate pe faze în mod egal, încît rețeaua să fie cît mai echilibrată, în scopul reducerii pierderii de tensiune.

În scopul unei exploatare simple, tablourile secundare cu un număr mare de circuite pot fi echipate cu întreruptor general.

În schema de distribuție se figurează legătura de protecție de bază care leagă părțile metalice ce se pot pune în mod accidental sub tensiune.

B. Schema rețelei secundare de distribuție pentru receptoare de forță este exemplificată în figura 5.31. Din figură se observă că schema de distribuție cuprinde și schema de principiu a circuitelor secundare (de comandă).

În general, motoarele se alimentează prin circuite individuale în scopul realizării unei siguranțe sporite în funcționare, fiecare circuit avînd pornitor individual care asigură pornirea și protecția corectă (prin reglajul corespunzător al releelor termice).

Pentru motoare mici, a căror putere cumulată este sub 10 kW se pot utiliza circuite comune, la care se pot racorda cel mult cinci motoare. Această soluție nu este sigură în funcționare, un defect eliminînd toate receptoarele. De aceea, utilizarea circuitelor comune poate fi restrînsă numai la receptoarele care servesc una și aceeași linie tehnologică.

La tablourile secundare de forță, în scopul unei întrețineri ușoare dată fiind frecvența defectelor, este necesar să fie prevăzute întreruptoare generale. De asemenea, la tablourile cu un număr mare de circuite sau alimentate prin coloane lungi, pentru localizarea defectelor, se montează siguranțe generale.

În general, datorită instalațiilor de pornire mai complicate, motoarele cu rotorul bobinat se folosesc numai pentru puteri mari sau atunci când curenții de pornire ai motoarelor cu rotorul în scurtcircuit ar provoca pierderi de tensiune importante, care ar produce deranjamente pentru alte receptoare.

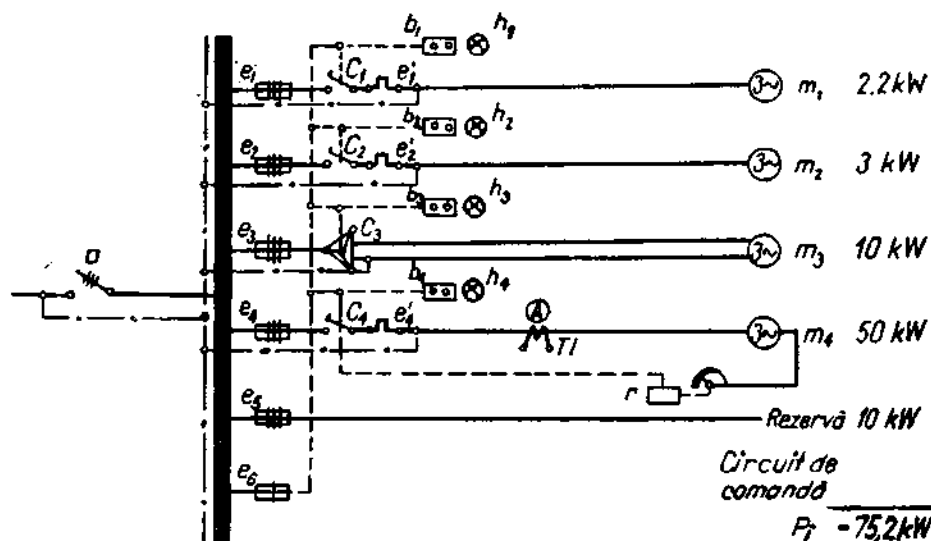


Fig. 5.31. Schema rețelei secundare de distribuție de forță: *a* — întrerupător manual cu rol de separație; *e*₁, *e*₂... siguranțe; *C*₁, *C*₂... contactoare; *e'*₁, *e'*₂... rele termice; *b*₁, *b*₂... butoane de comandă; *h*₁, *h*₂... lămpi de semnalizare; *r* — reostat de pornire; *TI* — transformator de intensitate; *A* — ampermetru; *m*₁, *m*₂... motoare

Motoarele asincrone se folosesc în general pentru puteri pînă la 100 kW; numai în situații excepționale, pentru receptoare care pot intra în funcțiune foarte rar (avarie, incendiu etc.) se pot utiliza și la puteri mai mari.

În scopul limitării curentului de pornire la valori admisibile, condițiile de pornire a motoarelor asincrone sînt definite astfel:

a. La racordarea din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului, pornirea se face direct dacă tensiunea rețelei (U_n) și puterea nominală (P_n) se înscriu în următoarele intervale:

$$U_n = 3 \times 220/127 \text{ V și } P \leq 4 \text{ kW}; \quad (5.1)$$

$$U_n = 3 \times 380/220 \text{ V și } P \leq 5,5 \text{ kW}. \quad (5.2)$$

Dacă puterile depășesc aceste limite, pornirea se va face printr-un sistem de limitare a curenților de pornire.

b. La consumatorii echipați cu post de transformare propriu, pornirea motoarelor se poate face direct cu condiția ca :

$$P_n \leq 0,2 P_T, \quad (5.3)$$

unde P_T este puterea nominală a postului de transformare.

Curenții de pornire în acest caz nu trebuie să determine forțe electrodinamice care să deterioreze înfășurările sau barele motorului electric.

Dacă puterea motoarelor depășește 100 kW, este interesantă utilizarea motoarelor sincrone de joasă tensiune, iar peste 200 kW — aceea a motoarelor sincrone de medie tensiune.

Motoarele de curent continuu nu pot fi pornite direct pentru că la pornire absorb un curent foarte mare (rezistența înfășurării indusului motorului este foarte scăzută). Din acest motiv, pentru pornire se folosesc reostate cu comandă manuală sau automată, intercalate în serie cu înfășurarea indusului.

Schemele de comandă automată a reostatelor se pot realiza prin traductoare care să lucreze funcție de timp, de tensiune sau de turație.

Utilizarea motoarelor de curent continuu este dictată de considerente tehnologice speciale, avînd în vedere caracteristicile de turație și posibilitățile de reglare a mașinilor respective.

5.2.3.3. Instalația aferentă tabloului general de distribuție de joasă tensiune, reprezentată prin schema tabloului general, pune probleme importante prin poziția ce o ocupă, căci ea realizează legătura cu rețeaua furnizorului și distribuția coloanelor la consumator.

Schema generală cea mai simplă este schema unui tablou secundar (fig. 5.32, a) utilizat pentru mici consumatori (locuințe, magazine mici etc.). Punctul de delimitare este materializat prin contorul de măsurare a energiei, care poate fi racordat direct sau prin transformator de măsură.

Dacă se notează cu U tensiunea rețelei și I_c curentul cerut de consumator, racordarea se face direct la $U=3 \times 220/127$ V și $I_c \leq 30$ A, și la — $U_n=3 \times 380/220$ V și $I_c \leq 20$ A. Peste aceste limite, se utilizează transformatoare de măsură pentru racordarea aparatelor de măsură.

La mai mult de cinci circuite sau coloane alimentate din tabloul general, normele prevăd obligativitatea montării de siguranțe generale, în scopul asigurării selectivității față de rețeaua de joasă tensiune a furnizorului.

În figura 5.32, b este dată o schemă pentru tabloul general al unui mare consumator de categoria III, racordat la rețeaua furnizorului printr-un post de transformare, cu tarifări separate de lumină și forță.

La schemele generale, cu puteri instalate mari pentru receptoarele de lumină sau mai mari de 20 kW la forță, în scopul realizării selectivității față de rețeaua de distribuție a furnizorului, este necesară prevederea întreruptoarelor automate (a_1 , a_2) generale. Pentru lucrări de întreținere este necesară montarea întreruptoarelor manuale I_1 și I_2 .

Verificarea sarcinilor pe faze la schema generală de lumină se realizează prin ampermetre A, racordate prin transformatoare de intensitate TI_1 , TI_2 . Măsurarea curenților echilibrați ai receptoarelor de forță se face printr-un singur ampermetru, montat pe una din faze prin transformatorul TI_3 .

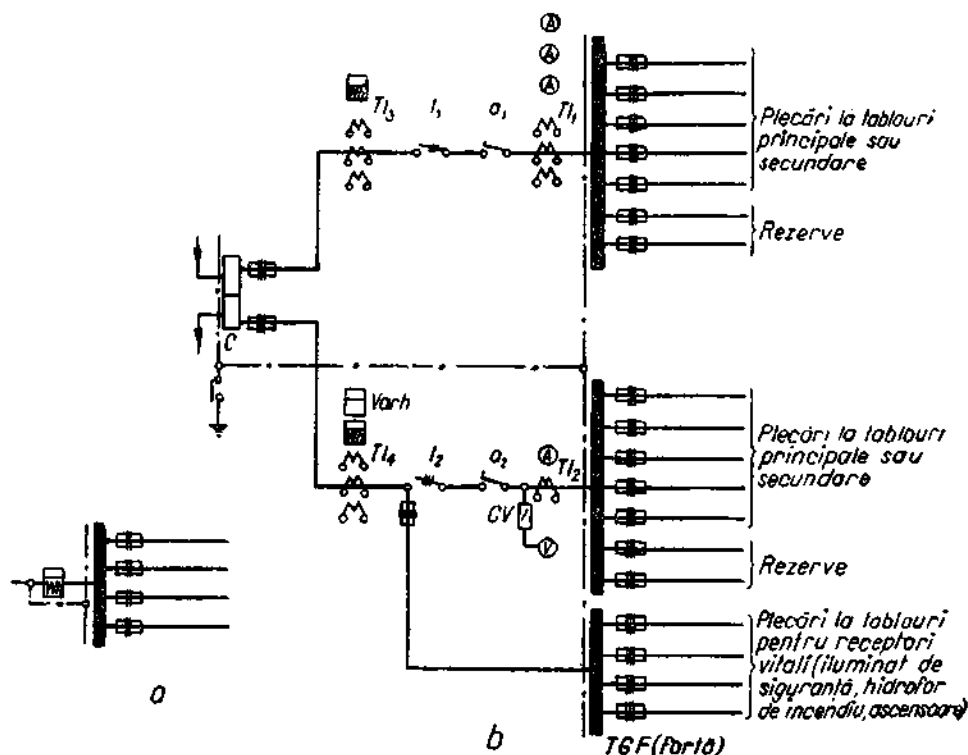


Fig. 5.32. Schema pentru tablouri generale de distribuție de lumină și forță: a — schema generală pentru un mic consumator de lumină; b — schema generală de lumină și forță pentru un mare consumator neindustrial, cu tarifări separate: I_1 , I_2 — întreruptoare cu rol de separație; a_1 , a_2 — întreruptoare automate cu protecție la suprasarcină și scurtcircuit; TI_1 , TI_2 ... transformatoare de intensitate pentru racordarea aparatelor de măsurat; A — ampermetru; V — voltmetru; CV — comutator voltmetric

Controlul tensiunii este realizat printr-un voltmetru ce se poate conecta între faze sau între faze și nul prin intermediul comutatorului voltmetric CV.

Trebuie remarcat ca receptoarele vitale (iluminatul de siguranță, hidroforul de incendiu, ascensoarele) se leagă înaintea întreruptorului general de forță.

5.2.4. SISTEME DE ANCLANȘARE AUTOMATĂ A REZERVEI (AAR), DECLANȘARE AUTOMATĂ DE SACRIFICIU (DAS), REANCLANȘARE AUTOMATĂ RAPIDĂ (RAR)

5.2.4.1. Sistem AAR. În principiu, o instalație AAR are rolul realizării unei comutări automate atunci când alimentarea se face din două surse, iar la una din surse s-a produs dispariția tensiunii. Sistemele AAR se pot clasifica după modul de acționare în: sistem unidirecțional și sistem bidirecțional.

În sistemul unidirecțional acționarea se face într-un singur sens, adică există o alimentare principală în care sistemul funcționează în mod normal și o alimentare de rezervă, la care se realizează comutarea automată dacă tensiunea a dispărut pe sursa principală.

În sistemul bidirecțional acționarea se face în ambele sensuri, fiecare din cele două surse putând constitui rezerva celeilalte. Sistemele AAR pot fi prevăzute cu revenire automată la situația normală de lucru după dispariția defectului, sau cu revenire manuală, în funcție de necesitățile și exigențele exploataării.

Din punctul de vedere al poziției în rețea, sistemele AAR se pot realiza în joasă tensiune sau în medie tensiune. În medie tensiune, sistemele AAR se utilizează dacă consumatorul este de categoria I, necesitând alimentarea continuă cu energie electrică, dacă alimentarea se face de la două surse printr-o rețea radială dublă scurtă (la care nu se poate prevedea deci protecție prin secționare de curent) sau dacă pentru limitarea puterii de scurtcircuit liniile nu pot fi legate în paralel.

Comutatoarele automate pot fi alimentate în curent operativ alternativ din rețea* sau în curent operativ continuu (din sursă independentă — baterie de acumulate).

În joasă tensiune, sistemul AAR se utilizează pentru consumatorii importanți de categoria I luați în ansamblu (proces tehnologice care nu permit întreruperi, teatre, studiouri radio-TV, construcții în care au loc activități importante de stat etc.) sau pentru anumiți receptori vitali de categoria I, în cadrul unui consumator de altă categorie (iluminat de siguranță pentru construcții importante, iluminat de continuarea lucrului, stațiile de pompare pentru incendiu, ventilația de avarie).

Indiferent de nivelul tensiunii de alimentare, sistemele AAR trebuie să îndeplinească următoarele condiții.

1. Să funcționeze precis și rapid la căderea tensiunii pe sursa principală la sistemul unidirecțional și pe orice sursă în sistemul bidirecțional.

2. Dacă sursa principală este trifazată, să realizeze comutarea la sursa secundară la dispariția tensiunii pe oricare din faze.

3. Să fie exclusă posibilitatea punerii în paralel a celor două surse.

4. La schemele cu revenire automată, în scopul eliminării posibilității de oscilație a sistemului: anclanșare-reanclanșare (sursă principală-sursă de rezervă), se introduce o întârziere între acționarea celor două surse prin intermediul unui releu de timp (dacă acționarea se face instantaneu, la punerea în funcțiune a sistemului, apare oscilația sistemului, căci nu există posibilitatea selectării uneia dintre surse).

5. La schemele AAR prevăzute cu revenire, pentru a evita ca sistemul să lucreze la scăderea tensiunii pe perioade de timp scurte, instalația trebuie prevăzută cu protecție de tensiune minimă care să funcționeze cu întârziere.

6. Este necesar ca protecția sursei principale să fie maximală, instantanee, iar a sursei de rezervă — maximală temporizată, pentru a evita ca sursa de

* Curent operativ : curentul de alimentare a sistemului AAR.

rezervă să fie scoasă din funcțiune dacă scurtcircuitul se menține un timp mai îndelungat, dar mai mic decât reglajul protecției sursei de rezervă.

7. Să asigure o semnalizare permanentă a prezenței tensiunilor și modului de lucru al sistemului AAR — RAR atât local, cât și eventual la un dispecerat.

8. Să asigure posibilitatea de verificare a funcționării sistemului, simulând pana de cădere a sursei principale.

În figura 5.33 este reprezentată o schemă AAR unidirecțională, cu revenire automată, pentru receptoare de joasă tensiune la curenți mici (sub 100 A), cu acționare în curent operativ alternativ.

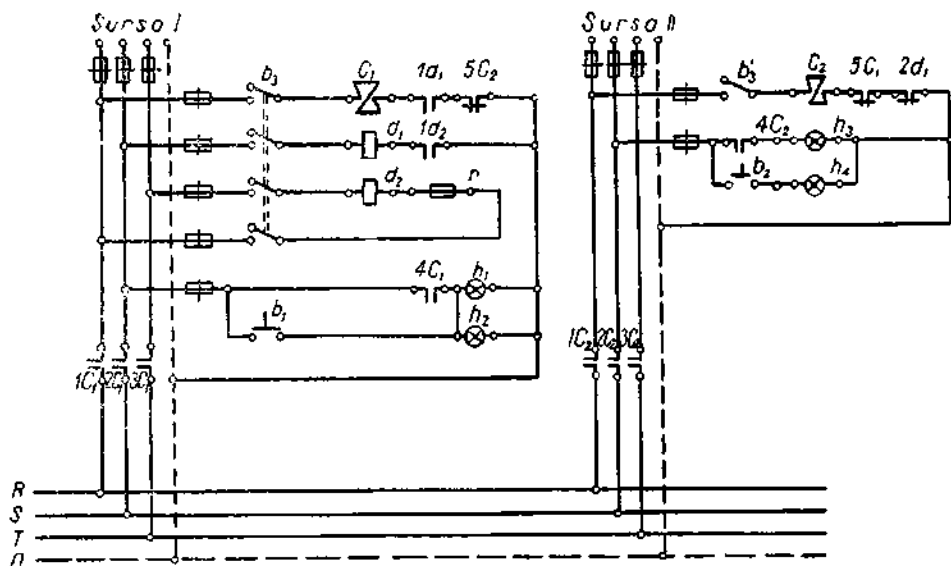


Fig. 5.33. Schemă AAR unidirecțională cu revenire automată pentru receptoare de joasă tensiune la curenți mici: c_1, c_2 — contactoare; d_1, d_2 — releu intermediare; b_1, b_2 — butoane de comandă pentru încercarea tensiunii; b_3 — comutator de comandă; h_1, h_2 — lămpi de semnalizare

La această schemă, temporizarea între surse se realizează prin lanțul de contacte: contactor (C_1) — releu intermediare (d_1, d_2), datorită timpului propriu de acționare cumulat. Instalația se pune în stare de funcționare prin comutatorul b_3 și b'_3 , iar prin butoanele b_1 și b_2 se poate controla existența tensiunii la cele două surse. Astfel prin b_3 se excită releul intermediar d_2 care își închide contactul $1d_2$, provocând excitarea releului intermediar d_1 ; acesta își închide contactul $1d_1$ determinând excitarea contactorului C_1 . C_1 își închide contactele principale $1C_1, 2C_1, 3C_1$ (care realizează alimentarea consumatorului pe

sursa I), contactul auxiliar $4C_1$ (semnalizarea funcționării prin lămpile h_1 și h_2) și deschide contactul $5C_1$ de interblocaj, încît sursa II nu poate intra în funcțiune.

La dispariția tensiunii pe una din faze (de exemplu T) releul d_2 se dezexcită și în lanț produce dezexcitarea lui d_1 prin contactul $1d_2$ și acesta — dezexcitarea lui C_1 prin $1d_1$.

Prin contactele $2d_1$ și $5C_1$ se excită C_2 , provocînd închiderea contactelor principale $1C_2$, $2C_2$, $3C_2$ și deci alimentarea consumatorului pe sursa de rezervă. Simultan, lămpile h_3 și h_4 semnalizează funcționarea pe sursa de rezervă, iar contactul $5C_2$ realizează blocajul lui C_1 .

La revenirea sursei principale, procesul de excitare în lanț a releelor intermediare și contactorului C_1 se repetă, provocînd însă, de la prima excitare a releului d_1 , scoaterea din funcțiune a lui C_2 . Excitarea în lanț și închiderea seriei de contacte provoacă o temporizare suficientă ca sursele să nu oscileze în procesul de comutare. De asemenea, datorită legăturilor de interblocaj, sursele nu se pot pune în paralel.

Rezistența r în serie cu bobina releului d_2 are rolul să asigure o cădere de tensiune de circa 40%, încît releul să fie acționat la tensiunea de 220 V.

În figura 5.34 este dată o schemă AAR unidirecțională cu revenire automată pentru iluminatul de siguranță aferent sălilor de spectacol (în special iluminat de evacuare, cu sursă de rezervă independentă — baterie de acumulare). În plus, schema pune și condiția comenzii voite a iluminatului special de evacuare, condiție impusă de specificul funcțional. Curentul operativ al schemei este curentul continuu.

Pregătirea pentru funcționare a instalației se realizează prin comutatorul tetrapolar „sau-sau“, manevrat în poziția I.

Releul intermediar d_1 se excită prin alimentarea din rețeaua principală. Excitarea sa provoacă închiderea contactului $3d_1$ și excitarea lui C_1 , cu condiția ca $3C_2$ să fie închis, adică C_2 dezexcitat. Lampa h_1 semnalizează funcționarea iluminatului de evacuare pe rețea (sursa principală).

Dacă tensiunea pe sursa principală dispare, atunci d_1 se dezexcită și își deschide contactul $3d_1$, provocînd întreruperea circuitului de comandă a lui C_1 . Prin dezexcitarea lui C_1 și d_1 , contactele lor normal închise $3C_1$ și $1d_1$ determină excitarea contactorului C_2 , care prin contactele $1C_2$ și $2C_2$ provoacă comutarea pe sursa de rezervă (baterie de acumulare). Lampa h_2 semnalizează funcționarea pe rezervă.

La revenirea tensiunii rețelei, comutarea se produce și în sens invers, prin excitarea lui d_1 , procesul repetîndu-se. Contactele serie ale releului d_1 și ale contactoarelor provoacă o temporizare suficientă ca sursele să nu se poată pune în paralel și să nu apară oscilații ale sistemului.

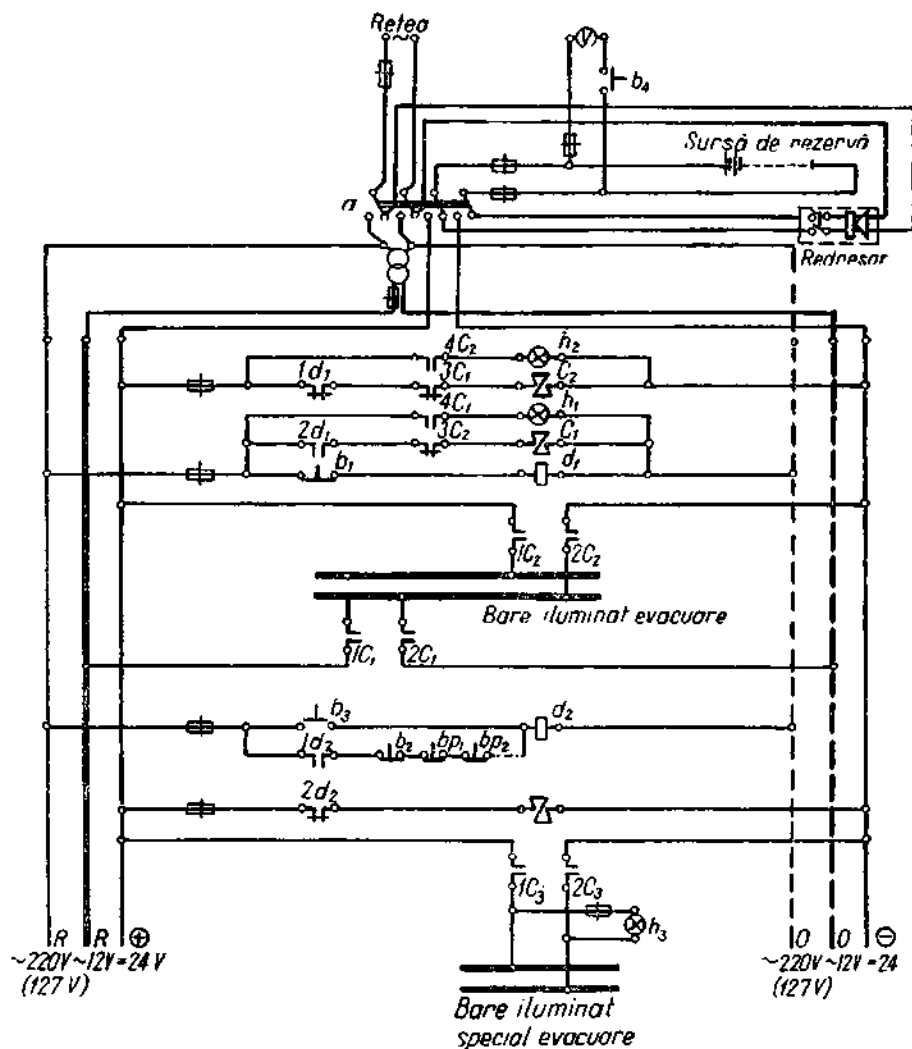


Fig. 5.34. Schema AAR cu revenire automată pentru iluminatul de siguranță: *a* — comutator; *c*₁, *c*₂, *c*₃ — contactoare; *d*₁, *d*₂ — rele intermediare; *b*₁, *b*₂ — butoane de comandă; *h*₁, *h*₂ — lămpi de semnalizare

Pentru pregătirea funcționării iluminatului special de evacuare se apasă pe butonul *b*₃ care excită reful *d*₂ ce deschide contactul *2d*₂. Iluminatul special de evacuare funcționează, fie la căderea rețelei, fie la comandă voită de la butoanele *b*₂, *b*_{p1}, *b*_{p2}, dar nu revine automat, ci trebuie comandat prin *b*₃.

În figura 5.35 este dată o schemă AAR unidirecțională cu acționare instantanee, fără revenire automată, cu alimentare în curent operativ alternativ.

Schema prezentată este folosită la medie tensiune, la puteri mari, dar poate fi utilizată și la joasă tensiune, la intrarea în tablourile generale.

Schema prezintă numai elementele interesante pentru funcționarea sistemului AAR, nefiind figurată protecția la scurtcircuit și suprasarcină. Se observă că circuitul de comandă este alimentat prin transformatoarele t_1 și t_2 , iar punerea sa în funcțiune se realizează prin întreruptorul bipolar b_1 . În funcționare normală, barele sistemului sînt alimentate din sursa I. La dispariția tensiunii pe una din faze, releele de tensiune d_1 și d_2 comandă, prin intermediul releului de timp d_3 , cu întârziere declanșarea întreruptorului automat a_1 (prin bobina de declanșare a'_1) și simultan, anclanșarea întreruptorului automat a_2

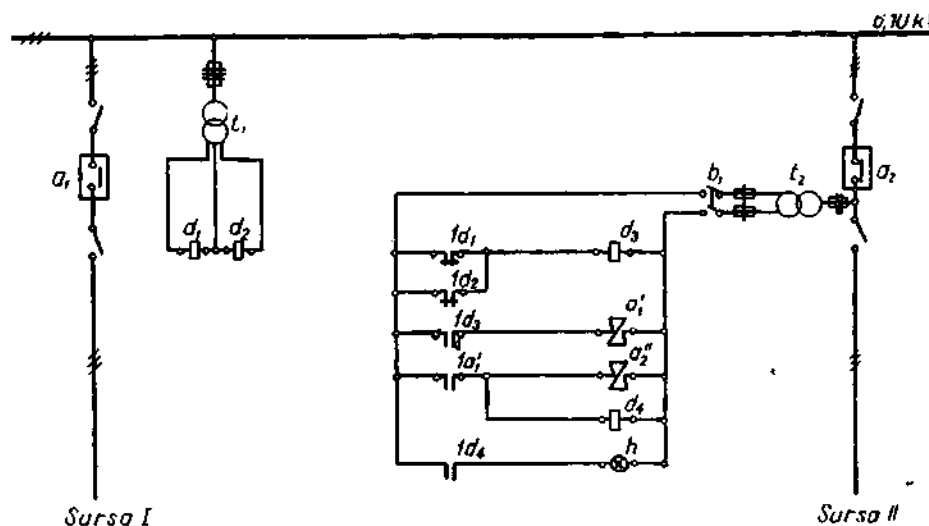


Fig. 5.35. Schema AAR unidirecțională de medie tensiune, cu acționare instantanee, fără revenire automată, cu alimentare în curent operativ alternativ: a_1 , a_2 — întreruptoare; d_1 , d_2 — relele de tensiune; d_3 — releu de timp; d_4 — releu de semnalizare

(prin bobina de anclanșare a'_2). Întârzierea este necesară pentru evitarea declanșării la scăderi de tensiune pe perioade de timp scurte. Prin releul intermediar d_4 se semnalizează funcționarea instalației.

5.2.4.2. Sistem DAS. Declanșarea automată de sacrificiu este un sistem automat de scoatere din funcțiune a alimentării unor receptoare secundare de categoria II-III, în cazul în care sursa secundară, care intră în funcțiune printr-un AAR, nu poate prelua întreaga sarcină, ci numai cea aferentă receptoarelor vitale. Desigur, utilizarea sistemului DAS este dictată de considerente economice, care nu permit dimensionarea instalației de alimentare în așa fel încît să preia sarcina totală.

În figura 5.36 este arătată o schemă de principiu DAS. Sursa principală $S I$ poate prelua puterea P . Sursa de rezervă $S II$ este dimensionată astfel încât să poată prelua sarcina p a receptoarelor vitale. În acest scop DAS, la defect, realizează întreruperea receptoarelor secundare sacrificate având puterea $P-p$. La revenirea sursei principale, după funcționarea AAR, trebuie ca DAS să revină la conexiunea inițială.

Sistemele DAS trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să funcționeze precis și rapid atunci când este necesar;
- să realizeze declanșarea la dispariția tensiunii pe oricare fază;
- declanșarea să se facă înainte ca sistemul AAR să lucreze pentru a nu produce suprasarcini pe sursa de rezervă;
- să asigure semnalizarea permanentă a funcționării sistemului;

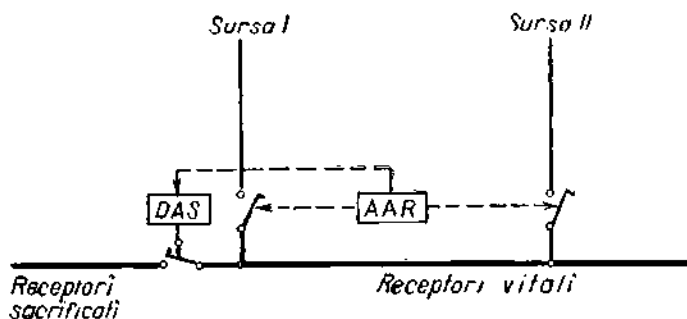


Fig. 5.36. Schemă de principiu a sistemului DAS

- să asigure posibilitatea de încercare a sistemului, simulând căderea sursei I .

În figura 5.37 este dată o schemă DAS de joasă tensiune, care intră în funcțiune când dispare tensiunea la sursa principală $S I$. Astfel, la dispariția tensiunii pe oricare din faze, bobina contactorului C_3 se dezexcită și prin contactele sale întrerupe secțiunea de bare sacrificate. La revenirea tensiunii pe sursa I sistemul DAS lucrează în sens invers. Simularea întreruperii tensiunii se realizează prin întreruptorul manual b_3 .

5.2.4.3. Sisteme RAR. Instalațiile de reanclanșare automată rapidă se utilizează pentru înlăturarea defectelor trecătoare, ce se pot produce la liniile aeriene la scurtcircuite provocate de cauze naturale, iar la liniile de cablu — la scurtcircuite ce au provocat funcționarea neselectivă a protecției.

În figura 5.38 este dată schema de funcționare a unui sistem RAR de joasă tensiune, cu curent operativ din sursă independentă.

Dacă a dispărut tensiunea pe una din faze, releele de tensiune nulă d_1, d'_1, d''_1 comandă declanșarea întreruptorului automat a_1 (prin bobina de declan-

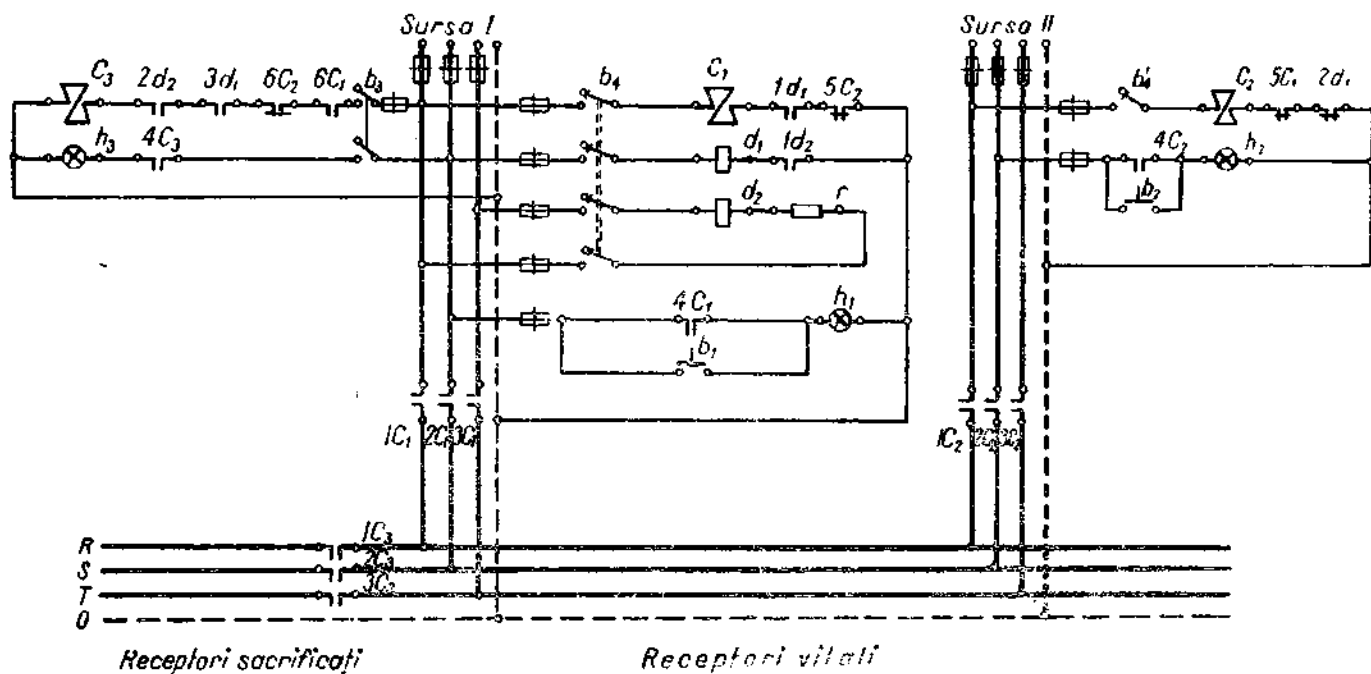


Fig. 5.37. Schemă desfășurată pentru sistem DAS: c_1, c_2, c_3 — contactoare; b_1, b_2 — butoane de comandă; b_3, b_4 — înterruptoare de comandă; d_1, d_2 — relee intermediare; h_1, h_2 — lămpi de semnalizare

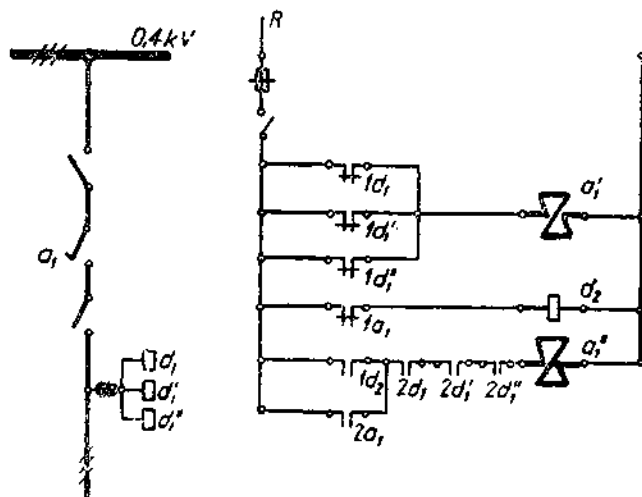


Fig. 5.38. Schemă RAR de joasă tensiune cu curent operativ din sursă independentă : a_1 — întreruptor ; d_1 , d_1' , d_1'' — relee de tensiune nulă ; d_2 — relee de timp

șare a_1'). Dacă tensiunea revine, prin contactul normal închis $1a_1$ al întreruptorului automat se excită releele de timp d_2 , care își închide cu întârziere contactul său normal deschis $1d_2$; prin aceasta, se excită bobina de anclanșare a_1'' și întreruptorul automat se închide.

5.3. DETERMINAREA PUTERII CERUTE DE CONSUMATORI

Pentru calculul termic al coloanelor de alimentare ale tablourilor de distribuție (generale, principale și secundare) este necesară determinarea puterii cerute.

Puterea cerută (sau puterea absorbită), notată cu P_c , reprezintă puterea convențională, constantă în timp, pentru care se dimensionează o anumită instalație, care în realitate absoarbe o putere variabilă în timp. Puterea cerută se alege în așa fel încât, pe de o parte, în nici un moment solicitarea termică și mecanică la care este expusă instalația să nu atingă valori periculoase ; pe de altă parte, puterea cerută trebuie să asigure dimensionarea economică a instalației, adică elementele acesteia să fie solicitate în perioadele de vîrf pînă la limitele admisibile. Deci, puterea cerută este mai mică decît cea maximă. Determinarea ei se poate face astfel :

- la instalațiile existente — pe baza curbelor de sarcină (vezi cap. 4) ;
- la instalațiile ce urmează a se proiecta — prin metoda analizei directe, metoda coeficienților de cerere sau metoda formulei binome.

Coeficientul de cerere, notat cu C_e , se definește ca raportul dintre puterea cerută și puterea instalată P_t (puterea nominală cumulată a tuturor receptoarelor), adică :

$$C_e = \frac{P_c}{P_t}, \quad (5-4)$$

sau

$$P_c = C_e P_t. \quad (5-5)$$

Puterea cerută variază direct proporțional cu coeficientul de simultaneitate, cu coeficientul de încărcare și invers proporțional cu randamentul mediu al rețelei și al motoarelor. Aceasta se poate exprima prin relația :

$$P_c = \frac{C_s C_t}{\eta_r \eta_m} P_t, \quad (5-6)$$

în care : C_s este coeficientul de simultaneitate ; C_t — coeficientul de încărcare, ce ține seama de încărcarea reală a motorului ; η_r — randamentul rețelei ; η_m — randamentul mediu al receptoarelor.

Pentru calculul lui C_s și C_t se procedează în felul următor :

$$C_s = \frac{P_f}{P_t}, \quad (5-7)$$

unde P_f este puterea în funcțiune simultană, P_t — puterea instalată.

$$C_t = \frac{P_r}{P_f}, \quad (5-8)$$

unde : P_r este puterea reală cu care este încărcat motorul.

Rezultă expresia coeficientului de cerere :

$$C_e = \frac{C_s C_t}{\eta_r \eta_m}. \quad (5-9)$$

În funcție de natura receptoarelor, coeficientul de cerere variază între 0,2 (mașini-unelte) și 0,9 (pompe, ventilatoare, iluminat).

5.3.1. DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE CERERE PE BAZA METODEI ANALIZEI DIRECTE

Această metodă poate fi aplicată cu exactitate suficientă pentru tablourile secundare de lumină, tablouri generale cu un număr redus de plecări la mici consumatori sau la mari consumatori neindustriali cu puteri mici, cînd se cunosc caracteristicile de funcționare ale acestora și cînd puterea instalată pentru lumină reprezintă mai mult de 60...75% din întreaga putere instalată.

Metoda constă în determinarea directă a coeficientului de cerere pe baza relației (5—9). Astfel, se disting două situații, în funcție de natura consumatorilor: receptoare de lumină și receptoare de forță.

a. *Receptoare de lumină.* Pentru tablourile secundare, puterea în funcție se apreciază direct prin analiza consumului. Pentru tablourile principale, coeficientul de simultaneitate este indicat de /50/, iar pentru locuințe de /56/. C_s variază în limite largi, între 0,5 (la coloane principale cu 20 apartamente) și 1,0 (la iluminatul de siguranță). Ceilalți termeni se iau astfel: $\eta_r=0,98 \dots 1$, în funcție de lungimea rețelei, $\eta_m=1$ și $C_t=1$, deci la iluminat $C_e \cong C_s$.

b. *Receptoare de forță.* Puterea în funcțiune se determină cunoscând procesul tehnologic de funcționare a motoarelor ce servesc construcțiile civile (scop utilitar: pompe, ventilatoare etc.). De asemenea, încărcarea pentru astfel de receptoare se apropie de sarcina nominală, adică $C_t=0,9 \dots 0,95$. Randamentul rețelei se ia $\eta_r=0,98 \dots 1$, în funcție de lungimea rețelei. Randamentul mediu se determină ca o medie ponderată a randamentelor receptoarelor (η_i) în raport cu puterile instalate (P_i):

$$\eta_m = \frac{\sum \eta_i P_i}{\sum P_i} \quad (5-10)$$

5.3.2. DETERMINAREA PUTERII CERUTE PE BAZA METODEI COEFICIENȚILOR DE CERERE

Metoda se bazează pe asimilarea coeficienților de cerere cu valori stabilite pe cale experimentală (statistică), pe categorii de receptoare. Fie: P_{ck} — puterea cerută la o categorie de receptoare; C_k — coeficientul de cerere pe o grupă de receptoare (indicată în anexa 4, tabelul A, în funcție de specificul receptoarelor); P_{ik} — puterea instalată pe o categorie de receptoare; Q_{ck} — puterea reactivă cerută de o grupă de receptoare, atunci:

$$P_{ck} = C_k P_{ik}, \quad (5-11)$$

iar puterile totale vor fi (pe întreprindere):

$$P_c = \sum P_{ck}. \quad (5-12)$$

În paralel, se determină și factorul de putere mediu necesar pentru obținerea curentului de calcul. Astfel:

$$\cos \varphi_m = \frac{P_c}{S_c}, \quad (5-13)$$

unde:

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (5-14)$$

iar

$$Q_{ci} = \sum Q_{ck} \quad (5-15)$$

și

$$Q_{ck} = P_{ck} \operatorname{tg} \varphi_k, \quad (5-16)$$

în care $\operatorname{tg} \varphi_k$ se determină în funcție de $\cos \varphi_k$ din anexa 4, tabelul A.

5.3.3. DETERMINAREA PUTERII CERUTE PRIN METODA FORMULEI BINOME

Puterea cerută pentru o grupă (categorie) de n receptoare este dată de relația :

$$P_{ck} = (aP_{ix})_k + (bP_{in})_k, \quad (5-17)$$

unde: a , b sînt coeficienții formulei binome indicați în anexa 4, tabelul B, caracteristici diferitelor categorii de receptoare; P_{ix} este puterea instalată a primelor x receptoare din grupă (categorie) în ordinea descrescătoare a puterilor; P_{in} — puterea instalată a tuturor celor n receptoare din aceeași grupă (categorie).

Puterea cerută totală va fi :

$$P_c = (aP_{ix})_{max} + \sum (bP_{in})_k, \quad (5-18)$$

unde: $(aP_{ix})_{max}$ este cel mai mare dintre termenii de forma aP_{ix} ; $\sum (bP_{in})_k$ — suma tuturor termenilor de forma $(bP_{in})_k$, k — numărul de grupe (categorii) de receptoare. În paralel, se poate determina și factorul de putere medie cu relația (5-13).

5.4. CALCULUL SECȚIUNII CIRCUITELOR ȘI COLOANELOR DE LUMINĂ. ALEGEREA ECHIPAMENTULUI DE PROTECȚIE, ÎNTRERUPTOARELOR, APARATELOR DE MĂSURAT PENTRU INSTALAȚIILE ELECTRICE DE LUMINĂ

5.4.1. CALCULUL SECȚIUNII CONDUCTOARELOR

Calculul comportă următoarele etape.

5.4.1.1. Calculul la încălzire a circuitelor și coloanelor montate în tuburi de protecție sau liber în aer :

a. Sarcinile maxime admisibile ale conductoarelor în regim permanent sînt indicate în /50/, fiind stabilite pe baza temperaturii de regim, care trebuie să aibă o valoare sub temperatura admisibilă, cît și în funcție de temperatura

mediului ambiant, de numărul conductoarelor în tub (cu cât sînt mai multe conductoare în tub, cu atît condițiile de răcire sînt mai dificile și încărcarea lor scade).

Dacă temperatura mediului diferă de temperatura pentru care este determinată încărcarea (+25°C), atunci încărcarea trebuie corectată (v. cap. 3). În acest caz :

$$I_{ma\tau} = K_{\tau} I_{ma}, \quad (5-19)$$

unde: $I_{ma\tau}$ este încărcarea maximă admisibilă pentru temperatura τ ; K_{τ} — coeficient de corecție în funcție de temperatură; I_{ma} — încărcarea maximă admisibilă pentru temperatura de 25°C.

b. Încărcarea maximă admisibilă în regim intermitent este mai mare decît încărcarea în regim permanent, ținînd seama de considerentele de la capitolul 3. Experimental, se constată că supraîncărcarea trebuie luată în considerare dacă timpul de încălzire t_i este mai mic de 4 minute, iar durata ciclurilor t_c este mai mare de 10 minute și secțiunea conductorului este mai mare de 16 mm² — aluminiu și 10 mm² — cupru*. Atunci :

$$I_{mat} = \sqrt{a} I_{ma}, \quad (5-20)$$

unde I_{ma} este încărcarea maximă admisibilă în regim intermitent; a — coeficientul de supraîncărcare dat de relația (3-20).

Dacă temperatura mediului diferă de cea pentru care a fost dată încărcarea maximă admisibilă, aceasta se corectează ca la regimul permanent cu relația (5-19).

Indiferent de regimul de funcționare (permanent sau intermitent), dacă traseul conductorului trece prin încăperi de temperaturi diferite (fig. 5.39) se consideră situația cea mai dezavantajoasă, cu condiția ca și lungimea porțiunii respective să depășească 10 m.

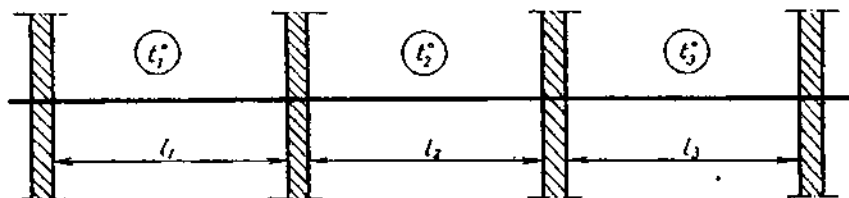


Fig. 5.39. Traseele conductoarelor în medii de temperaturi diferite: t_1 , t_2 , t_3 — temperaturile mediilor

c. În scopul protejării secțiunii conductoarelor la supracurenți, curentul nominal al fuzibilului I_F trebuie să aibă o valoare mai scăzută decît încărcarea maximă admisibilă. Astfel se ia :

$$I_F = (0,6 \dots 0,8) I_{ma}. \quad (5-21)$$

Pe de altă parte este necesar ca I_F să fie mai mare decît valoarea curentului în conductor I_c , adică :

$$I_F \geq I_c. \quad (5-22)$$

* Pentru t_i , t_c și secțiuni diferite de cele indicate, regimul se apropie de cel permanent.

Deci, practic se pune condiția (5—22) în funcție de care se alege fuzibilul I_F și apoi, conform relației (5—21), se alege secțiunea conductoarelor. Curentul de calcul se determină cu relațiile:

— pentru circuite sau coloane monofazate:

$$I_c = \frac{P_c}{U_f \cos \varphi}, \quad (5-23)$$

— pentru circuite sau coloane trifazate:

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} U \cos \varphi}, \quad (5-24)$$

în care: U_f este tensiunea nominală pe fază, în V; U — tensiunea nominală pe linie, în V; $\cos \varphi$ — factorul de putere; P_c — puterea cerută, în W.

Puterea cerută este dată de relația (5—15), în care coeficientul de cerere are valoarea $C_c=1$, pentru circuite. Pentru coloane, puterea cerută se determină prin una din metodele expuse.

Secțiunea conductorului de nul de lucru se determină în funcție de valoarea curentului pe conductorul de nul, însă din motive de siguranță în exploatare (pot apare variații de sarcini) se respectă secțiunile minime din /50/.

5.4.1.2. Calculul la încălzire al circuitelor și coloanelor realizate în cabluri pozate în pământ. Calculul secțiunii cablurilor nu diferă de cel al conductoarelor. Încărcarea maxim admisibilă la cablu, în regim permanent, trebuie însă corectată în funcție de condițiile diferite de lucru față de cele date în /50/ (condiții de pozare, temperatură, rezistență termică, sol). Atunci:

$$I_{max} = K I_{ma}, \quad (5-25)$$

unde: I_{max} este valoarea încărcării maxim admisibilă corectată; I_{ma} — valoarea încărcării maxime admisibilă din tabele /50/; K — coeficient global de corecție dat de relația:

$$K = K_1 K_2 K_3, \quad (5-26)$$

unde K_1 este un coeficient care depinde de numărul de cabluri pozate pe un singur rând în același șanț (condițiile de răcire fiind diferite); K_2 — coeficient funcție de temperaturile maxime din lunile de vară ale zonei în care se pozează cablurile (încărcarea I_{ma} este dată pentru $t=+20^\circ\text{C}$); K_3 — coeficient funcție de rezistența termică a terenului măsurată în $^\circ\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ (condițiile de răcire sînt diferite în diverse medii). Coeficienții K_1 , K_2 , K_3 sînt dați în /50/.

5.4.1.3. Calculul de încălzire a circuitelor și coloanelor realizate în cabluri pozate în aer liber. Aceasta este situația curentă în instalațiile de tip industrial, unde cablurile sînt montate pe console pe pereți, sau pe console așezate pe tăvi în canale și tuneluri.

Calculul se face prin analogie cu cel al conductoarelor, însă încărcarea maximă admisibilă pe cablu, în regim permanent, trebuie corectată în funcție de condițiile de lucru diferite față de cele date în tabele (mod de pozare, temperatura medie). Astfel, încărcarea maxim admisibilă corectată $I_{max'}$ este dată de relația:

$$I_{max'} = K' I_{ma}, \quad (5-27)$$

unde :

$$K' = K'_1 K'_2, \quad (5-28)$$

iar K'_1 este un coeficient funcție de numărul de cabluri pozate și modul de pozare (condițiile de răcire diferă) ; K'_2 — coeficient funcție de temperatura mediului ambiant (T_{ma} este dat la $+20^\circ\text{C}$). Coeficienții K'_1 și K'_2 sînt dați în /50/.

5.4.1.4. Verificarea secțiunii din punct de vedere mecanic. Pentru conductoare montate liber în aer sau în tuburi, secțiunea obținută prin calculul la încălzire se verifică din punct de vedere mecanic prin comparare cu secțiunile minime admisibile din acest punct de vedere, pentru circuite, derivații, prize, corpuri de iluminat, coloane, sau în montaj aerian în funcție de deschidere /50/.

5.4.1.5. Verificarea secțiunii la pierderea de tensiune. În vederea alimentării receptoarelor la nivelul de tensiune nominal este necesară limitarea pierderilor de tensiune. Verificarea se face pe traseul cel mai lung și mai încărcat, începînd de la tabloul general sau contor pînă la receptorul cel mai îndepărtat, cu excepția locuințelor, unde verificarea se face începînd de la cofretul de bransament. Notînd pierderea de tensiune efectivă $\Delta U_{ef}\%$ și pierderea de tensiune admisibilă $\Delta U_{ad}\%$, trebuie ca :

$$\Delta U_{ef}\% \leq \Delta U_{ad}\%, \quad (5-29)$$

unde $\Delta U_{ad}\%$ are următoarele valori :

- pentru instalațiile de iluminat (cu excepția locuințelor) bransate direct la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului $\Delta U_{ad}\% = 3\%$;
- pentru instalațiile de iluminat (cu excepția locuințelor) racordate la un post de transformare propriu $\Delta U_{ad}\% = 8\%$;

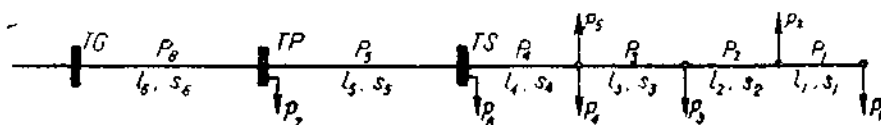


Fig. 5.40. Schema de calcul pentru verificarea pierderii de tensiune în rețelele interioare : $p_1, p_2 \dots p_7$ — puterile receptoarelor ; $P_1, P_2 \dots P_6$ — puterile pe tronsoane ; $P_1 = p_1$; $P_2 = p_1 + p_2$; $P_3 = p_1 + p_2 + p_3$ etc.

- pentru locuințe, pierderea de tensiune se ia de 3%, însă repartizată pe coloană (2%) și pe circuit (1%) ;
- pentru instalațiile de iluminat alimentate la tensiune redusă (sub 42 V) $\Delta U_{ad}\% = 10\%$;
- pentru corpurile de iluminat izolate și îndepărtate, $\Delta U_{ad}\% = 10\%$.

Pentru verificare, se întocmește o schemă simplificată de calcul, pentru traseul cel mai lung și mai încărcat ca în figura 5.10 (eventual 2—3 trasee).

Pierderile de tensiune în regim monofazat, bifazat și trifazat echilibrat și dezechilibrat se calculează cu relațiile de la capitolul 4.

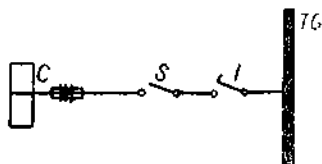


Fig. 5.41. Schema de conectare a intreruptoarelor automate la tabloul general

5.4.2. ALEGEREA ECHIPAMENTULUI DE PROTECȚIE

Siguranțele fuzibile pentru circuite și coloane se aleg conform celor indicate în paragraful 5.4.1.1. Pentru marii consumatori, în scopul asigurării siguranței în funcționare și selectivității față de rețeaua furnizorului, când puterea este mare, la alimentarea tabloului general se prevede pentru protecție un întreruptor automat* astfel ales încît să

localizeze defectul la scurtcircuit (v. cap. 8) față de rețeaua furnizorului (fig. 5.41).

Intreruptoarele automate se dimensionează la curentul de calcul. Dacă se notează I_{nt} — curentul nominal al întreruptorului, atunci:

$$I_{nt} \geq I_c. \quad (5-30)$$

Notînd I_{RET} — curentul de reglaj al releelor termice și I_{REM} — curentul de reglaj al releelor electromagnetice, este necesar ca:

$$I_{RET} = I_c, \quad (5-31)$$

$$I_{REM} \leq 4,5 I_{ma}, \quad (5-32)$$

pentru întreruptoare cu acționare instantanee;

$$I_{REM} \leq 1,5 I_{ma}, \quad (5-33)$$

pentru întreruptoare cu acționare temporizată.

Curentul de reglaj al releelor electromagnetice este ales astfel încît să protejeze secțiunea conductoarelor la acțiunea curenților de scurtcircuit.

5.4.3. ALEGEREA INTRERUPTOARELOR ȘI APARATELOR DE MĂSURAT

Intreruptoarele manuale se aleg în funcție de curentul lor de rupere sub sarcină, I_r , care trebuie să fie mai mare decît curentul de calcul:

$$I_r \geq I_c. \quad (5-34)$$

Aparatele de măsurare a energiei (contoarele) se dimensionează la curentul nominal. Ele se pot racorda direct sau cu transformator (v. par. 5.2.3.3).

Ampermetrele se prevăd la tablourile generale ale consumatorilor cu puteri mari ($P_c > 100$ kW), montarea lor realizîndu-se de asemenea cu transformatoare de măsură.

Deoarece la consumatorii de lumină pot apărea dezechilibrări, aparatele de măsurat se montează la fiecare fază.

* Întreruptorul automat este prevăzut cu protecție la suprasarcini de durată prin relee termice cu caracteristică dependentă de curent, iar la scurtcircuit cu protecție maximală prin relee electromagnetice cu caracteristică independentă de curent.

5.4.4. VERIFICAREA LA STABILITATEA TERMICĂ LA CURENȚII DE SCURTCIRCUIT

După cum s-a arătat în capitolul 3, în cazul regimului de scurtă durată (la scurtcircuit) se produce o supraîncălzire a conductoarelor, care însă trebuie limitată la valori admise ale supraîncălzirii. Din acest punct de vedere, conductoarele ce alimentează barele tabloului general, cât și cele ce fac racordarea la medie tensiune, este necesar să fie verificate la curenții de scurtcircuit. Astfel, ținând seama de relațiile (3—30) și (3—32), se poate scrie condiția de stabilitate termică a secțiunii conductorului:

$$s \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_f}{A - A_t}} \quad \text{sau} \quad s \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_f}{A_0}} \quad (5-35)$$

în care: I_{∞} este valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit stabilizat, în A, care se poate lua pentru receptorii îndepărtați de sursă egală cu valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit I_{sc} ; A_0 — coeficient determinat în funcție de natura materialelor conductoarelor și temperatura admisă la scurtcircuit (fig. 3.4), t_f — timpul fictiv de scurtcircuit în secunde, care pentru rețelele de utilizare se poate lua egal cu timpul real.

De asemenea, aparatele de conectare, transformatoarele de măsură, coloanele generale ale consumatorilor de puteri mari, cât și aparatele de conectare ale rețelei de medie tensiune, trebuie verificate la stabilitate termică la curenți de scurtcircuit cu relația:

$$I_{\infty} \leq I_{ad} \sqrt{\frac{t_{ad}}{t_f}}, \quad (5-36)$$

scrisă prin analogie cu relația (3—37) în care: I_{∞} este curentul de scurtcircuit stabilizat în instalație; I_{ad} — curentul de scurtcircuit maxim admis pentru aparat (indicat de fabricant); t_{ad} — timpul maxim admis pentru trecerea curentului I_{ad} , cu condiția ca aparatul să-și păstreze stabilitatea termică; t_f — timpul fictiv de scurtcircuit.

5.5. CALCULUL SECȚIUNII CONDUCTOARELOR, CIRCUITELOR ȘI COLOANELOR DE FORȚĂ. ALEGEREA ȘI REGLAREA ECHIPAMENTULUI DE PROTECȚIE

5.5.1. CALCULUL SECȚIUNII CONDUCTOARELOR

Calculul secțiunii conductoarelor comportă următoarele etape.

5.5.1.1. **Determinarea secțiunii pe baza calculului la încălzire.** Secțiunea se determină în funcție de încărcarea maximă admisibilă în conductor comparată cu curentul de calcul în conductor.

Curentul maxim admisibil în conductor, în regim intermitent, se determină în modul arătat la subcapitolul 5.4. De asemenea, celelalte corecții aplicate încărcării maxim admisibile pentru conductoare, cabluri în pământ sau aer, în funcție de condițiile de schimb de căldură diferite de cele nominale, sînt identice cu cele de la subcapitolul 5.4. Trebuie îndeplinită condiția :

$$I_c \leq I_{ma}, \quad (5-37)$$

iar curentul de calcul se determină cu relațiile (5-23) și (5-24).

5.5.1.2. **Verificarea secțiunii din punct de vedere mecanic** se face prin compararea secțiunii determinate efectiv cu secțiunile minime admisibile corespunzătoare din /50/.

5.5.1.3. **Verificarea secțiunilor la densitatea de curent la pornire.** Deși curentul de pornire este de scurtă durată, avînd o valoare mare, el poate provoca supraîncălzirea conductoarelor sau cablurilor peste limitele admise pe baza regimului de scurtă durată. De aceea, densitatea de curent la pornire se limitează la următoarele valori : 35 A/mm² (cupru) și 20 A/mm² (aluminiiu). Densitatea de curent efectivă se determină cu relația :

$$J_p = \frac{I_p}{s}, \quad (5-38)$$

unde : I_p este curentul de pornire [A] ; s — secțiunea [mm²].

Curentul de pornire depinde de modul de pornire. Astfel, se poate lua orientativ, cînd nu se cunosc caracteristicile date de fabricant :

— la pornirea directă a motorului asincron cu rotorul în scurtcircuit :

$$I_p = (6 \dots 8) I_n; \quad (5-39)$$

— la pornirea cu comutator stea triunghi a motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit :

$$I_p = 2,7 I_n; \quad (5-40)$$

— la pornirea cu reostat a motorului asincron cu inele colectoare :

$$I_p = 1,6 I_n. \quad (5-41)$$

Pentru determinarea curentului de vîrf pe coloană ($I_{c \max}$) se consideră o ipoteză de lucru obișnuită, dacă nu există condiții speciale. Astfel, fiind date m motoare care funcționează simultan, se presupune că pornește motorul care dă curentul de pornire cel mai mare ($I_{p \max}$) într-un moment cînd toate celelalte ($m-1$) funcționează absorbînd curentul ($\sum_{i=1}^{m-1} I_{ci}$) ; rezultă :

$$I_{c \max} = I_{p \max} + \sum_{i=1}^{m-1} I_{ci}. \quad (5-42)$$

5.5.1.4. **Verificarea secțiunii la pierderea de tensiune în sarcină.** Calculul pierderii de tensiune în sarcină se face pe traseul cel mai lung și mai încărcat, după alcătuirea unei scheme de calcul ca și la circuitele de lumină, cu relațiile din capitolul 4.

Pierdere admisibilă de tensiune este de 5% — pentru racordare directă la rețeaua de distribuție de joasă tensiune și de 10%, dacă consumatorul este racordat prin post de transformare propriu.

5.5.1.5. Verificarea secțiunii la pierderea de tensiune la pornire. Verificarea pierderii de tensiune la pornire se face pe traseul cel mai lung pentru motorul care dă curentul de pornire cel mai mare. Calculul se face cu relațiile din capitolul 4, în care în locul curentului de calcul este introdus curentul de pornire I_p pentru circuite și curentul de vîrf pentru coloane ($I_{c\max}$).

Astfel pierderea de tensiune la pornire, pe circuit, va fi dată de relația :

$$(\Delta U_p)_{ef} \% = \frac{100}{\gamma} \frac{1}{U_n} \frac{\sqrt{3} I_p l}{s} \cos \varphi_p, \quad (5-43)$$

în care $\cos \varphi_p$ este factorul de putere la pornire.

Pierdere de tensiune la pornire, pe coloană, va fi dată de relația :

$$(\Delta U_p)_{ef} \% = \frac{100}{\gamma} \frac{1}{U_n} \frac{\sqrt{3} I_{c\max} l}{s} \cos \varphi_m, \quad (5-44)$$

în care $\cos \varphi_m$ se poate lua acoperitor egal cu valoarea factorului de putere mediu determinat prin relația (5-13).

Pierdere de tensiune admisibilă la pornire este o valoare dată de către fabrica producătoare pentru fiecare tip de motor. În cazul cînd aceasta nu este cunoscută, se ia orientativ 12%.

5.5.2. ALEGEREA ȘI REGLAREA ECHIPAMENTULUI DE PROTECȚIE

Echipamentele de protecție a motoarelor : rele termice pentru protecția de suprasarcină, rele electromagnetice sau siguranțe fuzibile pentru protecția la scurtcircuit trebuie reglate sau dimensionate în așa fel, încît să realizeze protejarea motoarelor și concomitent să nu întrerupă la suprasarcini de scurtă durată (de exemplu, la curenți de pornire, care au o durată mică).

5.5.2.1. Reglarea releelor termice se face la valoarea de reglaj I_{RT} dată de relația :

$$I_{RT} = (1,05 \dots 1,2) I_c. \quad (5-45)$$

Gama releelor termice și domeniul lor de reglaj sînt date de fabricant. Ele se pot regla, în general, între 60 și 100% din valoarea nominală a curentului releului (I_{RT}). Valoarea reglată la releu ($I_{RT-reglat}$) trebuie să îndeplinească condiția (5-45).

5.5.2.2. Alegerea releelor electromagnetice. Protecția prin relee electromagnetice montate la întreruptoarele automate este preferabilă protecției prin siguranțe fuzibile, datorită rapidității de lucru, posibilității eventuale de temporizare și remedierii simple. Protecția prin relee electromagnetice se prevede la motoare de puteri mari sau cu funcțiuni importante, la linii, la tablourile de forță de puteri peste 20 kW.

Reglajul releelor electromagnetice se face ținând seama atât de valoarea curentului de pornire pe circuit sau a curentului maxim pe coloană, cât și de valoarea maximă ce o poate suporta conductorul, fără să depășească limita de temperatură admisă, ce ar provoca degradarea izolației.

Reglajul releelor față de curentul de pornire se face astfel :

— pentru circuite :

$$I_{REM} \geq 1,2 I_p ; \quad (5-46)$$

— pentru coloane :

$$I_{REM} \geq 1,2 I_{cmax} . \quad (5-47)$$

Reglajul releelor față de curentul maxim admis în secțiunea conductorului protejat se face cu relațiile (5-32) și (5-33).

5.5.2.3. Dimensionarea siguranțelor fuzibile. Siguranțele fuzibile în instalațiile de forță au rolul de protejare a elementelor de circuit și, în lipsa releelor electromagnetice, realizează protecția motoarelor la curenții de scurtcircuit.

În dimensionare, se iau în considerare condițiile de pornire, protecția la scurtcircuit, protecția la suprasarcină (numai la coloane). Ținând seama de condițiile de pornire, se determină prima relație de calcul. Astfel, din caracteristica de topire a fuzibilului (fig. 3.31) se pot citi valorile timpilor de topire (t) în funcție de valoarea curentului (I_t). Dacă se raportează valoarea curentului I_t la valoarea nominală a curentului fuzibilului (I_F), se poate întocmi tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
$K_p = \frac{I_t}{I_F}$	1,3	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0
t	∞	1 h	20'	40'	8"	4,5"	2,5"

Pentru ca fuzibilul să nu se topească trebuie ca intensitatea curentului de pornire I_p să fie mai mică decât curentul de topire al fuzibilului I_t , adică ($I_p < I_t$). Ținând seama de expresia lui I_t din tabelul 5.1 rezultă :

$$I_F \geq \frac{I_p}{K_p} . \quad (5-48)$$

În funcție de timpul de pornire pentru diversele sisteme de pornire se determină valoarea coeficientului K_p astfel: la motoare cu pornire directă — $K_p=2,5$; la motoare cu pornire cu comutator stea-triunghi — $K_p=2$; la motoare cu pornire prin reostat — $K_p=1,6$.

În mod analog pentru coloane:

$$I_F > \frac{I_{c \max}}{K_p'} \quad (5-49)$$

în care $K_p'=2$.

Ținând seama de condițiile de protecție la scurtcircuit, în scopul evitării supraîncălzirii conductoarelor, trebuie îndeplinită condiția:

$$I_F \leq 3 I_{ma} \quad (5-50)$$

Ținând seama de condițiile de protecție la suprasarcină pe coloană, trebuie îndeplinită condiția:

$$I_F > I_c \quad (5-51)$$

5.5.3. ALEGEREA INTRERUPTOARELOR ȘI APARATELOR DE MĂSURAT

Se face identic cu modul de alegere a aparatelor similare pentru instalațiile de lumină (v. par. 5.4.3.).

5.5.4. VERIFICAREA STABILITĂȚII TERMICE LA CURENȚI DE SCURT-CIRCUIT

Se face la fel ca pentru instalațiile de lumină (v. par. 5.4.4.).

5.6. BRANȘAMENTE ELECTRICE

Bransamentul reprezintă ansamblul instalațiilor pentru racordarea consumatorilor la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului. Se realizează, în general, pentru consumatori cu putere absorbită sub 100 kW, fără să existe însă o delimitare precisă de putere, aceasta fiind în funcție de rezervele energetice existente în zona considerată. Elementele componente ale bransamentului sînt:

- cablul de intrare (eventual și cablul de ieșire);
- cofretul (firida) de bransament, cuprinzînd elementele de protecție și distribuție;
- coloanele de alimentare a tablourilor generale.

Intrarea în cofret se poate face, din punctul de vedere al realizării construcției, prin bransament subteran sau bransament aerian.

5.6.1. BRANȘAMENTE SUBTERANE

Branșamentul subteran este utilizat pentru consumatorii urbani, la care rețeaua de distribuție a furnizorului este de tip subteran.

Intrarea în cofret se poate realiza prin simplă derivație (manșon de derivație) din cablu de joasă tensiune al furnizorului (fig. 5.42) sau prin sistem intrare-ieșire (fig. 5.43).

Branșamentul cu manșon de derivație este simplu, prezintă însă mari dezavantaje funcționale și de exploatare, fiind o conexiune realizată în pământ,

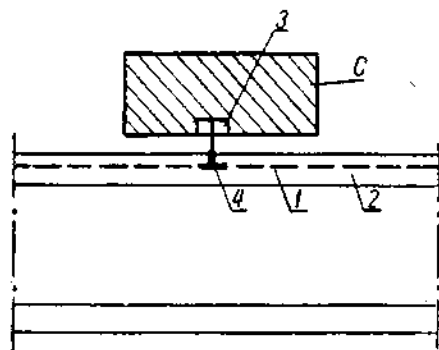


Fig. 5.42. Branșament prin manșon de derivație: 1 — cablu; 2 — trotuar; 3 — cofret; 4 — manșon de derivație; C — consumator

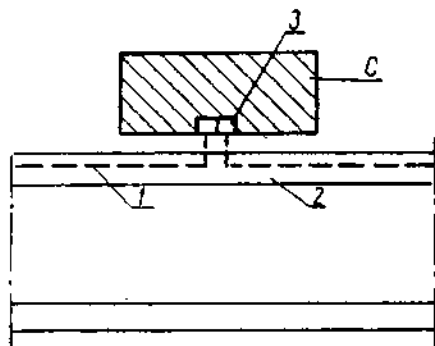


Fig. 5.43. Branșament prin sistem intrare-ieșire: 1 — cablu; 2 — trotuar; 3 — cofret; C — consumator

supusă intemperiiilor, variațiilor de temperatură și umiditate, îmbătrânește repede și poate provoca defecte (scurtcircuite, întreruperi). De asemenea, reparația și detectarea locului de defect prezintă dificultăți.

Branșamentul cu sistem de intrare-ieșire, chiar dacă are o valoare de investiție mai ridicată, prezintă unele avantaje importante:

— este ușor de întreținut și de depanat, fiind realizat în interiorul cofretului de racord;

— este supus în mică măsură intemperiiilor, variațiilor temperaturii și umidității, conexiunile fiind închise în interiorul cofretului (dacă cofretul este montat în interiorul construcției, atunci cofretul este complet protejat);

— se pretează alimentării în buclă de joasă tensiune și derivațiilor multiple ca în figura 5.44.

În figura 5.44 este exemplificat sistemul de branșament uzual al rețelelor urbane. Astfel cofretele C_1 , C_2 , C_3 , C_6 și C_7 sînt prevăzute cu sistem intrare-ieșire simplu, cofretul C_5 este prevăzut cu intrare-ieșire și derivație (la C_4), iar pentru cofretul C_4 alimentarea se realizează printr-un singur cablu*.

* Modul de alimentare printr-un singur cablu a consumatorilor izolați este denumit și „alimentare în vîrf”.

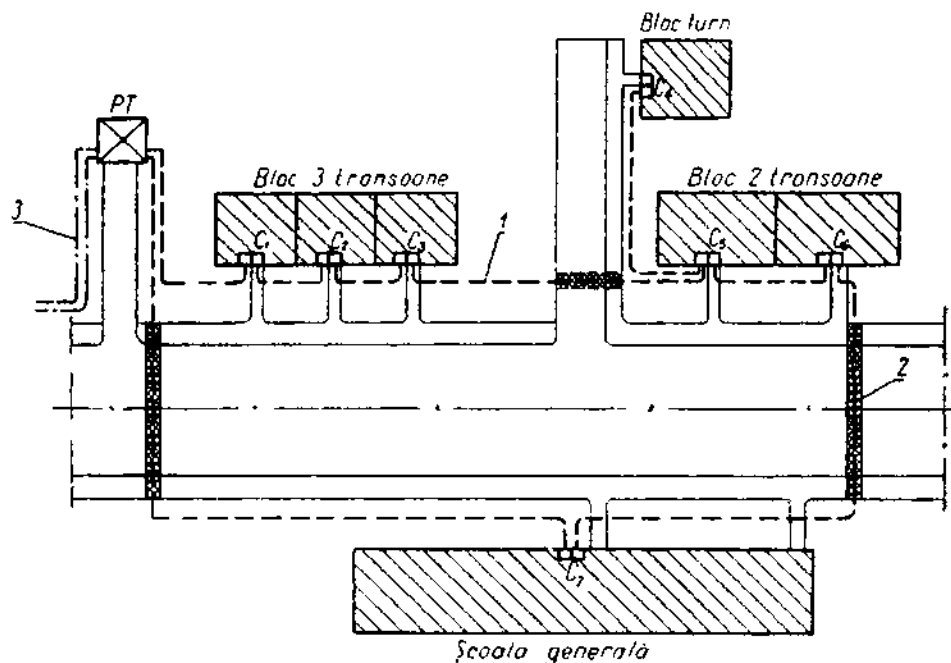


Fig. 5.44. Sistem de bransare pentru rețele urbane de joasă tensiune: 1 — cablu de joasă tensiune; 2 — traversarea căilor de acces în tub de protecție (v. cap. 6); 3 — cablu de tensiune medie.

Cofretele $C_1, \dots, C_7$ sînt legate în buclă prin sistemul intrare-ieșire cu care sînt echipate. Din motive de economie, dacă condițiile de siguranță în exploatare nu o cer, cofretul C_4 este alimentat în vîrf. Traseele cablurilor se realizează în zona verde sau în trotuar (dacă nu există zonă verde), coordonîndu-se cu celelalte instalații exterioare (termoficare, apă, canalizare etc.).

Cofretul de bransament reprezintă de fapt un tablou de distribuție închis, fiind construit dintr-un stelaj metalic 1 montat în interiorul unei firide (fig. 5.45). El este echipat cu siguranțe cu fir fuzibil 3, cu mare putere de rupere, pentru asigurarea cablurilor de intrare-ieșire, iar eventualele plecări la tablourile generale ale construcției (sau la firidele de distribuție de nivel în cazul blocurilor de locuințe) sînt asigurate, fie cu siguranțe 4, cu legături în față LF, pentru curenți pînă la 60 A, fie cu siguranțe de mare putere de rupere pentru valori ale curenților peste 60 A.

Din construcția cofretului și din schema sa rezultă dublul rol al cofretului: acela de bransare la rețeaua de distribuție de joasă tensiune și cel de punct de derivație pentru rețeaua de joasă tensiune și pentru racordarea altor consumatori.

Ansamblul este protejat printr-o ramă cu ușe metalică 2 și încuietore de tip special 5, în așa fel încît să fie accesibil numai furnizorului.

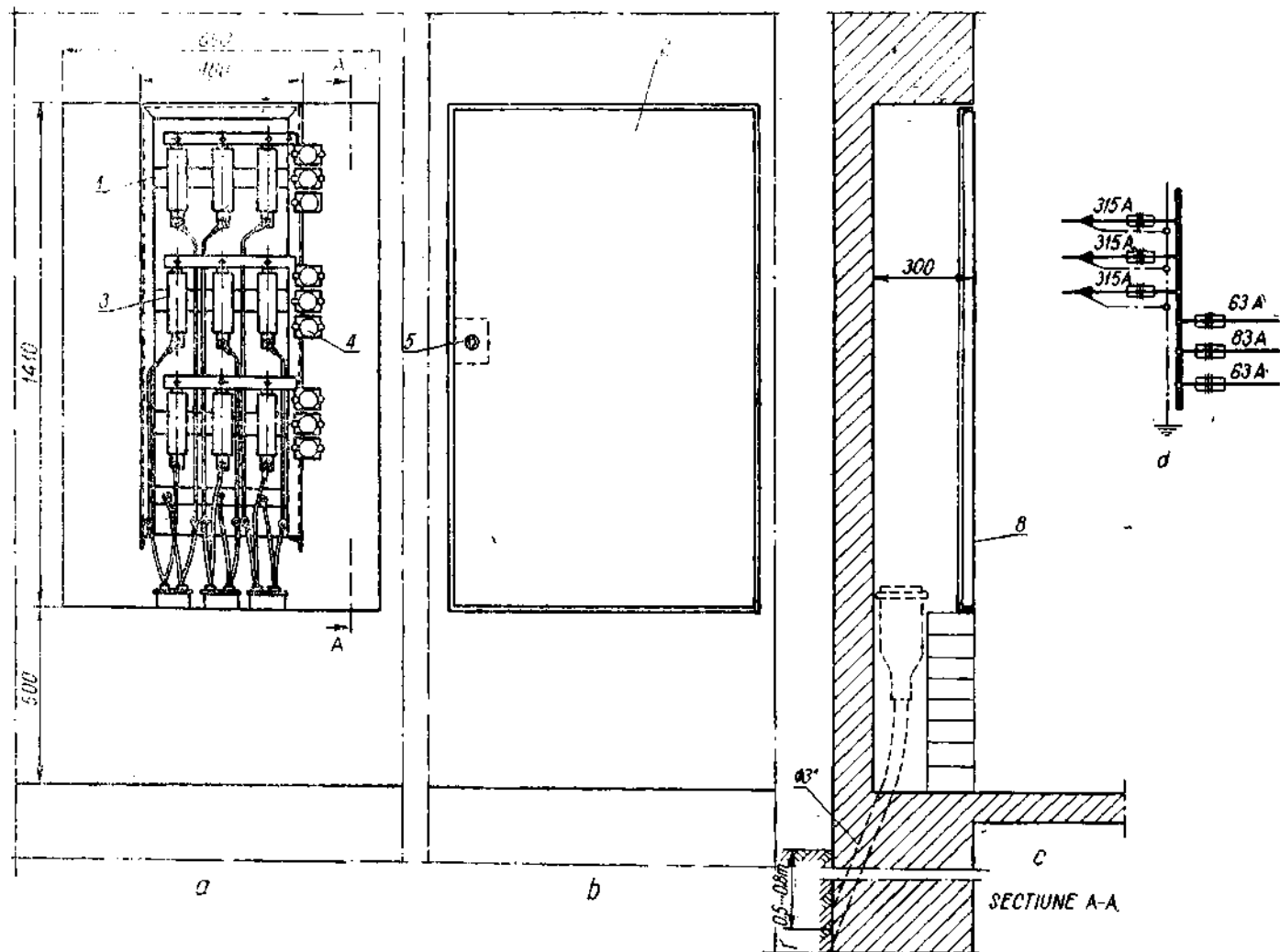


Fig. 5.45. Cofret de racord: *a* — vederea cofretului cu ușa deschisă; *b* — idem, cu ușa închisă; *c* — secțiune; *d* — schema electrică

Intrarea cablurilor în cofret se face ca în figura 5.46, *c*, prin țevi de oțel sau policlorură de vinil lăsate în cofraj la turnarea betonului, cu o rază de curbă R dimensionată în funcție de diametrul cablului d , în așa fel încât izolajia să nu se deterioreze ($R \geq 25 d$). La micii consumatori, cu puteri absorbite sub 10—15 kW (locuințe mici), de tip vilă, alimentarea se poate face și cu o firidă simplă (intrare), alimentată în vîrf sau prin manșon de derivație, prin racord mono-, bi- sau trifazat, în funcție de intensitatea curentului de calcul (sub 30 A — monofazat).

În figura 5.46 este dată o firidă simplă pentru alimentarea unui astfel de consumator.

Firida materializează schema din figura 5.46, *d*: legătura cu cablul se realizează printr-o cutie terminală 1, de la care se fac conexiunile la placa de marmură cu trei borne 2, iar de la placă la elementele de siguranță 3, cu legături în față LF , fixate pe o placă de lemn gletuit. Pentru protecție, firida este închisă cu ușă metalică fixată pe ramă 4. La blocurile de locuințe cu mai multe niveluri și multe apartamente, rețeaua furnizorului se extinde și în interiorul construcției, fiind alcătuită din cofretul de racord, firidele de distribuție de nivel și coloanele de legătură între cofret și firide. În figura 5.47, *a* este dată schema de racordare a unui bloc de locuințe cu zece niveluri și trei apartamente pe nivel.

De la cofretul de racord *C* cu intrare-ieșire se alimentează firidele de distribuție F_1 , F_2 prin coloanele C_1 și C_2 . De la firide se racordează tablourile secundare de apartament TS_1 , TS_2 ... etc.

În figurile 5.47, *b* și *c* este dată vederea din față, cu ușa deschisă și ușa închisă, a firidei de distribuție de nivel F_1 sau F_2 , care conține două plăci de marmură 1

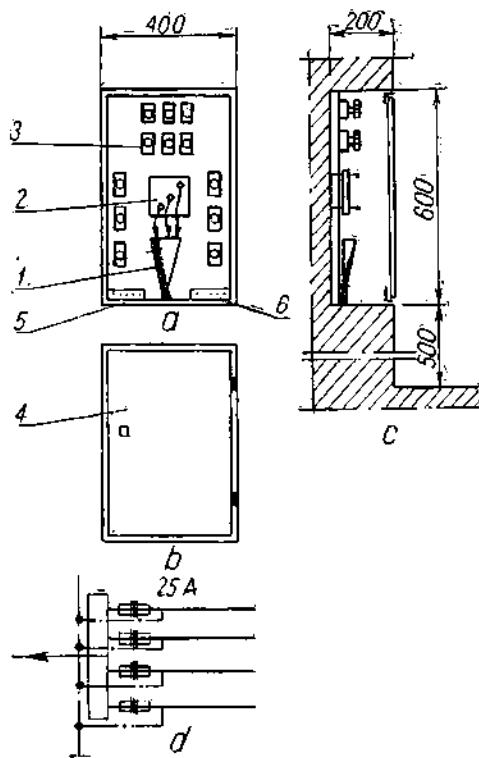


Fig. 5.46. Firidă de bransament pentru mici consumatori, cu puteri sub 10—15 kW : *a* — vederea firidei cu ușa deschisă; *b* — idem, cu ușa închisă; *c* — secțiune; *d* — schema electrică

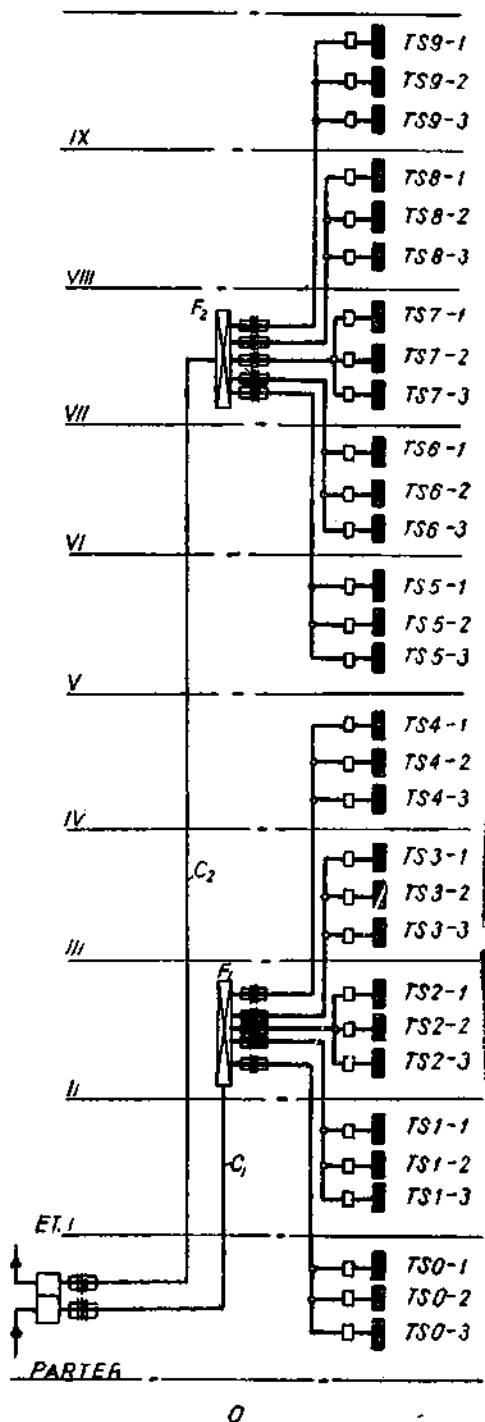
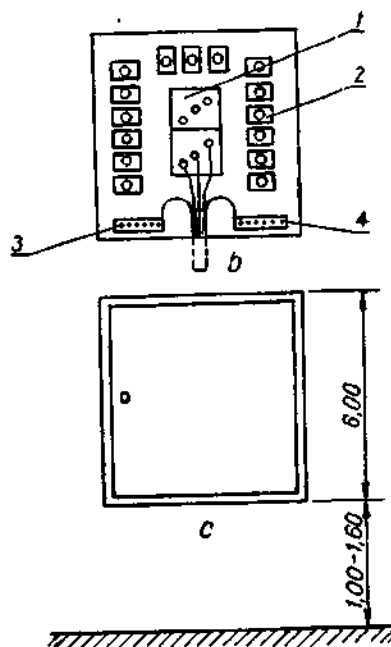


Fig. 5.47. Schema de racordare interioară a consumatorilor din blocurile de locuințe: *a* — schema coloanelor de distribuție; *b* — vederea firidei cu ușa deschisă; *c* — idem, cu ușa închisă



cu borne pentru conexiuni și elementele de siguranță 2 pentru asigurarea coloanelor ce alimentează tablourile de apartament.

5.6.2. BRANȘAMENTE AERIENE

Branșamentele aeriene sînt utilizate acolo unde există rețele de distribuție aeriană, în rețelele de joasă tensiune rurale sau acolo unde se execută rețele cu caracter provizoriu. În figura 5.48 se prezintă un exemplu de bransament aerian monofazat pentru o locuință.

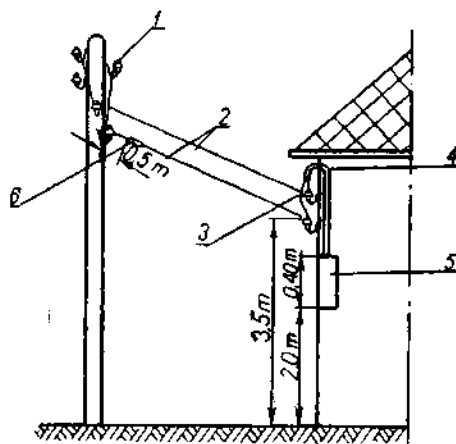


Fig. 5.48. Branșament aerian : 1 — linie de joasă tensiune; 2 — conexiuni; 3 — izolație; 4 — tub metalic de protecție cu pipă; 5 — firidă; 6 — siguranță de protecție

5.7. PROIECTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE LUMINĂ ȘI FORȚĂ, INTERIOARE, AFERENTE CONSTRUCȚIILOR (METODOLOGIE)

Proiectarea instalațiilor electrice comportă următoarele etape.

1. Amplasarea receptoarelor în planurile de arhitectură la scara de 1:50 (receptoarele de lumină se determină în conformitate cu cele arătate la capitolul 2, iar receptoarele de forță în conformitate cu cerințele tehnologice impuse prin temă).

2. Alegerea schemei generale de distribuție de principiu în funcție de importanța construcției, din punct de vedere al siguranței în exploatare, de mărimea receptoarelor, numărul lor, întinderea construcției.

3. Amplasarea tablourilor secundare de distribuție, pe cât posibilă, în centrul de greutate al sarcinilor, avînd însă în vedere ca accesul să fie simplu (camere de trecere, coridoare, cameră portar) sau pentru tablouri de forță în preajma receptoarelor respective; lungimea circuitelor obișnuite să nu fie prea mare (la $U_f=220$ V — sub 50 m; la $U_f=120$ V — sub 35 m).

4. Amplasarea tablourilor principale și generale în încăperi special destinate, încălzite (+15°C), cu corpuri statice, cu ventilație naturală, uscate. Pentru consumatorii de puteri mici, tablourile se pot amplasa și în încăperi de trecere care nu se închid, montate în firide cu ușa metalică.

5. Definitivarea schemei generale de distribuție, prin repartizarea receptorilor pe circuite și, simultan, nominalizarea în planuri a circuitelor respective. Calculul puterilor instalate și cerute pe tablouri secundare, principale și generale.

6. Alegerea tipului de instalație electrică adoptat, în funcție de caracteristicile procesului tehnologic ce urmează să se desfășoare în încăperea /50/, de caracteristicile constructive (exemplu: pereți din zidărie, la construcții civile: instalație în tuburi PVC sau conducte îngropate; pereți din beton sau prefabricate netencuiți, la construcții civile: instalație în tuburi sau goluri lăsate în cofraj la turnare sau instalații în plintă confecționată din materiale plastice; pereți din beton sau zidărie de cărămidă netencuiți, la construcții industriale: trasee aparente în tuburi metalice pozate pe console, sau în cabluri armate pozate pe console etc.) (v. subcap. 5.8).

7. Alegerea traseelor instalațiilor electrice în planuri, coordonarea cu structura de rezistență a construcției (evitarea stîlpilor, grinzilor, indicarea golurilor necesare străpungerii elementelor de rezistență), coordonarea cu traseele celorlalte instalații (păstrarea distanțelor de gardă față de conductele de apă rece, caldă, gaze, canalizare și încălzire — v. /50/).

8. Trasarea în planuri a instalațiilor electrice pe baza schemei generale de distribuție și a traseelor alese.

9. Calcularea elementelor instalațiilor electrice pe baza schemei generale de distribuție (circuite, coloane, elemente de protecție, întreruptoare, separatoare, aparate de măsurat și anexe etc.).

10. Întocmirea detaliilor de instalații electrice (tablouri de distribuție generale, principale, secundare, tablouri de comandă, doze de distribuție speciale concentrate; detalii de trasee prin elemente de construcție; pentru construcțiile de prefabricate: detalii de trasee prin panouri; detalii de corpuri de iluminat speciale; detalii de mascare a dozelor centralizate în construcțiile social-culturale cu înfășăre deosebită).

11. Alcătuirea părții economice a proiectului pe baza măsurării elementelor instalațiilor electrice în planurile întocmite.

5.8. EXECUȚIA INSTALAȚIILOR ELECTRICE

Instalațiile electrice din clădiri trebuie să asigure funcționarea corectă și sigură a utilajelor alimentate. De asemenea, încă din faza de proiectare, trebuie luate măsuri pentru ca ele să răspundă și altor cerințe, legate în special de faza de execuție. Instalațiile electrice trebuie să permită dezvoltări sau modificări ulterioare fără eforturi prea mari; ele vor fi în măsura posibilului, independente de elementele construcției. Execuția instalației electrice va fi astfel realizată, încît să se asigure o productivitate a muncii cît mai mare și un consum minim de materiale; în acest scop, se vor utiliza într-o măsură cît mai mare elementele de instalații prefabricate.

Ținând seama de particularitățile de exploatare a instalațiilor electrice, construcțiile se clasifică în patru tipuri fundamentale: clădiri de locuințe, industriale, social-culturale-administrative și agricole. Diferitele moduri de execuție a instalațiilor electrice se aplică mai mult sau mai puțin avantajos la cele patru tipuri de construcții.

În tabelul 5—2 este prezentată o clasificare a principalelor tipuri de instalații electrice care se pot folosi în diferite construcții; în continuare se descriu succint caracteristicile constructive ale acestor tipuri de instalații.

Tabelul 5.2

Clasificarea tipurilor constructive de instalații electrice: ×× — preferabil;
× — permis; — neadmis

Tipul instalației electrice	Tipul de construcție			
	de locuit	industrial	social-cultural	agricol
Sub tencuială (ST)	×	×	×	—
În tencuială (IT)	×	×	×	—
Pe tencuială (PT)	×	×	×	×
Sub pardoseală (SP)	××	××	××	×
În scafe (IS)	—	×	×	—
În plafon fals (IPF)	××	××	××	××
În canale îngropate (ICI)	××	×	×	—
În canale suspendate (ICS)	×	××	×	××
În plinte (IP)	××	×	××	—
Pe poduri (PP)	—	××	×	×
În țevi autoportante (TA)	—	×	×	—

a. *Instalații sub tencuială ST.* Instalațiile ST se caracterizează prin faptul că tuburile în care se introduc conductoarele se instalează în canale executate în zidărie. Tencuiala care acoperă tuburile trebuie să aibă o grosime de minimum 10 mm. Canalele se realizează înainte de aplicarea tencuiei; în pereți, ele vor fi verticale și orizontale, așezarea oblică este permisă numai în plafoane. Conductoarele se trag în tuburi numai după fixarea acestora în pereți.

Figura 5.49 prezintă un exemplu de instalație sub tencuială.

b. *Instalații în tencuială IT.* Instalațiile IT sînt executate din conducte cu manta (INTENC) așezate direct pe zidărie sau pe alte elemente ale construcției,

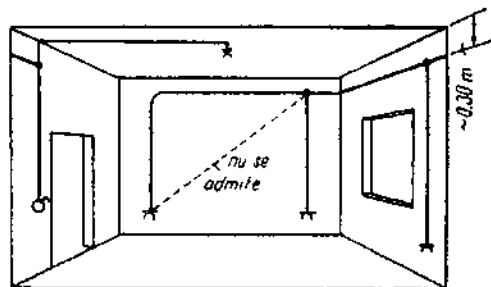


Fig. 5.49. Exemplu de instalație sub tencuială

acoperite apoi cu un strat de tencuială de minimum 5 mm, care servește ca protecție mecanică.

Avantajul instalațiilor *IT* față de cele *ST* constă în evitarea unor lucrări care necesită timp îndelungat, ca de exemplu tragerea conductoarelor în țeavă. În schimb înlocuirea circuitelor defecte sau instalarea unora noi, necesită lucrări relativ mari.

Conductoarele nu se vor așeza direct pe elemente combustibile, condițiile detaliate de montaj fiind date în /50/.

c. *Instalații pe tencuială PT.* Tipul de instalații *PT* clasic folosește mai ales țevi din *PVC* (în condițiile din /50/), instalate la o anumită distanță de pereți,

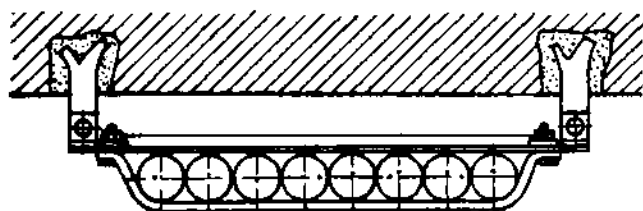


Fig. 5.50. Tuburi montate pe consolă

fixate eventual în mănunchiuri prin brățări (fig. 5.50). Pe porțiunile expuse la lovituri mecanice sau sub înălțimea de 2 m de la pardoseală, instalația *PT* se va realiza numai cu tub metalic.

Fixarea tuburilor de pereți se face cu ajutorul brățărilor, fermelor sau consolelor metalice.

d. *Instalații sub pardoseală SP.* Instalațiile *SP* constau din conductoare cu manta, tuburi, canale sau alte elemente constructive, montate direct pe plan-

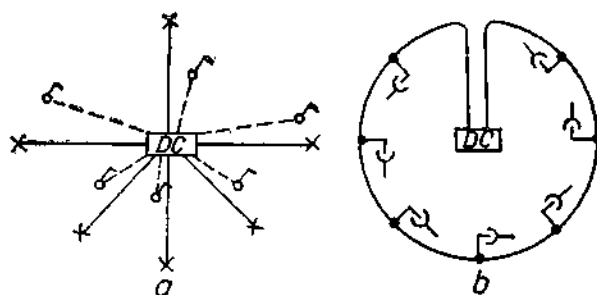


Fig. 5.51. Principiul instalației cu doză centralizată:
DC — doză centralizată; *a* — circuite de lumină;
b — circuit de priză

șeu și care se acoperă și se protejează prin pardoseală de egalizare, plăci și dale. Canalele se realizează pe sau în planșeu înainte de executarea straturilor de pardoseală, la intervale regulate.

Instalații sub pardoseală se pot executa sub două forme.

d.1. Instalații cu doză centralizată DC, care se aplică cu precădere în clădirile de locuit. Principiul ei se deduce din figura 5.51. Doza centralizată DC, așezată de obicei în antreu, conține un tablou ce realizează conexiunile între toate aparatele care compun instalația electrică. Conductoarele care alimentează lămpile sînt întinse pe planșeul superior și apoi coborîte printr-un orificiu (fig. 5.52).

Instalațiile DC nu necesită doze de ramificație; ele permit realizarea unui înalt grad de prefabricare.

Uneori, instalațiile DC se completează cu butoane de comandă de la distanță a circuitului de lumină. În acest scop, în locul întreruptoarelor de lumină se

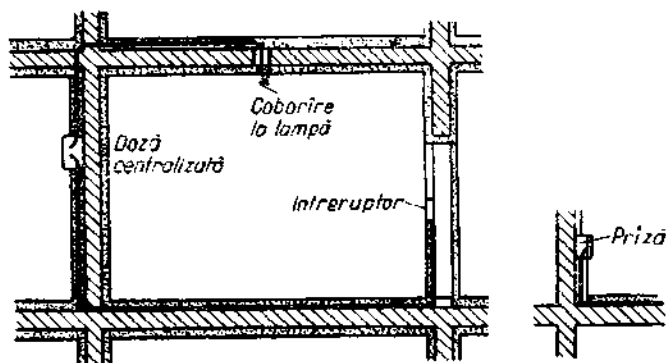


Fig. 5.52. Instalație cu doză centralizată (secțiune)

instalează butoane care comandă acționarea unor contactoare ce închid și deschid circuitele lămpilor. Contactoarele alimentate sub tensiunea de 8 sau 12 V, precum și transformatorul, sînt instalate pe tabloul din doza centralizată. În acest fel, pe lângă micșorarea pericolului de electrocutare, se realizează adesea și o simplificare considerabilă atât a instalației electrice (de ex. butoanele de comandă la distanță înlocuiesc întreruptoarele de capăt și cruce) cît și din punct de vedere constructiv (conducele de 8—12 V necesită o izolație subțire, care ușurează realizarea traseelor verticale).

De regulă, în construcțiile social-culturale-administrative și industriale pe traseele paralele de tuburi protectoare, în locul dozelor individuale de derivație sau legătură, se montează o doză comună în care conductoarele sînt etichetate în scopul depistării eventualelor defecte în exploatare. Acest sistem favorizează o execuție și o exploatare simplă.

d.2. Instalații în canale IC se utilizează cu prioritate în încăperile mari cu caracter industrial sau birouri mari cu un singur nivel, în care sistemul cu doze centralizate nu se poate aplica.

Figura 5.53 prezintă principiul sistemului IC. Conductoarele se introduc în canale din material plastic, întinse, de exemplu, în lungul liniei de mașini unelte din atelier. Din loc în loc sînt instalate casete de tragere, de ramificație sau de

trecere. Pardoseala se ridică pînă la înălțimea casetelor, astfel încît va obține o grosime de 100 ... 130 mm în halele industriale și 60 ... 75 mm în clădirile social-culturale.

Pe casetele de trecere, unde este nevoie, se așează casete cu prize, care alimentează utilajele.

Figura 5.54 prezintă un exemplu de instalație în canale într-o hală industrială. Avantajul principal al instalației cu canale apare în momentul în care

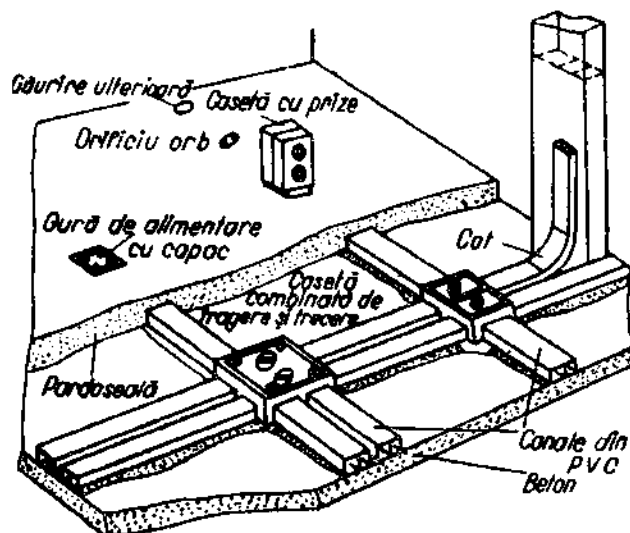


Fig. 5.53. Instalație cu canale IC.

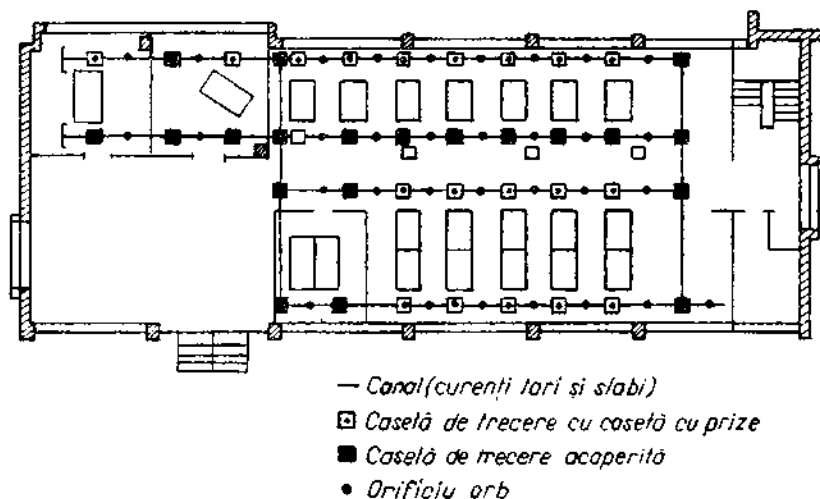


Fig. 5.54. Exemplu de instalație cu canale

apar modificări în procesul de producție, când are loc și modificarea poziției utilajelor. În acest caz schimbarea locului de alimentare cu energie electrică se face foarte simplu, prin așezarea casetelor cu prize pe alte casete de trecere sau de tragere sau pe găuri care se fac în canal în locul dorit; ieșirile care nu mai sînt necesare se acoperă.

e. Instalații în sace IS. Instalațiile IS se caracterizează prin așezarea conductoarelor, tuburilor și celorlalte elemente de instalații cu precădere în sace (fig. 5.55).

Instalația în sace se utilizează mai ales în legătură cu instalația de iluminat a încăperilor reprezentative din construcții social-culturale, cinematografe, restaurante, baruri etc. În alte cazuri IS au un rol redus sau sînt chiar interzise. Avantajul lor de a nu necesita materiale de fixare ca dibluri, bare etc. este compromis de faptul că instalația poate fi montată numai în zona scafelor.

f. Instalații în plafon fals IPF. În cazul instalațiilor IPF, conductoarele, tuburile și celelalte elemente se așează cu precădere în plafoane false nevizitabile sau vizitabile.

În cazul plafoanelor nevizitabile, conductoarele sau tuburile se fixează pe console sau cu brățări pe perete sau pe plafon, înainte de executarea plafonului intermediar. Ele pot fi fixate și de elementele de suspensie a plafonului fals (fig. 5.56), sau la plafoanele din rabiț direct pe plasa acestuia.

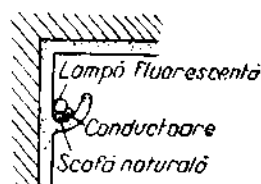


Fig. 5.55. Instalație în sace IS

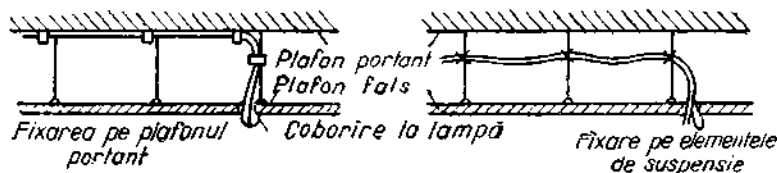


Fig. 5.56. Plafon fals nevizitabil

Toate aparatele, dozele, locurile de îmbinare, trebuie să fie accesibile din afară. Deasupra plafonului fals destinat transportului și distribuției de aer fără canale, nu se vor instala țevi, conducte sau doze.

Plafoanele vizitabile se utilizează mai ales în construcțiile industriale cu un singur nivel și sînt destinate cu precădere pentru executarea instalațiilor de iluminat importante. Spațiul este folosit adesea și pentru adăpostirea unor elemente ale instalațiilor de climatizare, de alimentare cu aer comprimat, apă sau lubrefianți pentru spațiul de dedesubt. În asemenea cazuri, conductele și țevile se așează liber, pe suprafața superioară a plafonului fals, paralel cu una din axele construcției. În locurile periculoase, ele trebuie protejate mecanic.

Corpurile de iluminat sînt înzestrate de obicei cu tuburi fluorescente; ele se așează în locașurile prevăzute în plafon și se alimentează fiecare printr-un cor-

don și fișe de la cîte o priză a unui circuit special de prize. Ansamblul corp de iluminat-cordon-fișe formează o unitate, care se poate schimba ușor și repede, ceea ce asigură o bună întreținere.

Conductoarele care se coboară prin plafonul fals se protejează la trecere cu ajutorul unei țevi metalice (fig. 5.57).

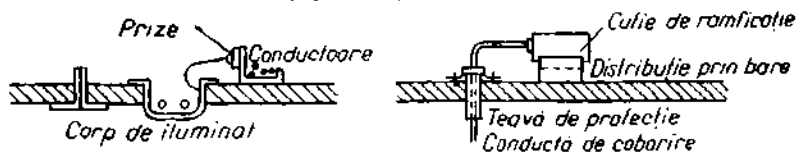


Fig. 5.57. Exemple de execuție pentru plafon fals vizibil

g. Instalații în canale ICP. Canalele de perete orizontale se execută în nișele sau proeminențele zidăriei sau de-a lungul muchiilor construcției (fig. 5.58). Canalele verticale (fig. 5.59) sînt spații goale prevăzute în elementele de construcții.

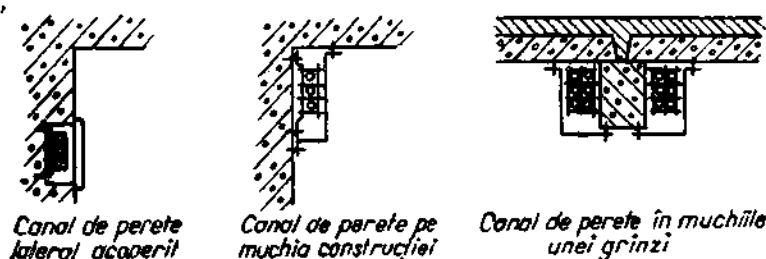


Fig. 5.58. Exemple de instalații în canale de perete

Conductoarele și țevile se pot grupa în mănunchiuri, ceea ce permite o bună utilizare a spațiului. Folosirea elementelor de susținere prefabricate simplifică mult lucrările de montaj. În canale, conductoarele, cablurile și tuburile mai pot fi așezate pe tăvi (v. pct. j).

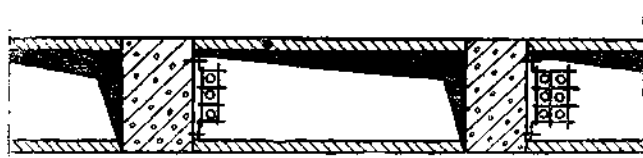


Fig. 5.59. Exemple de instalații în canale verticale existente între montanți

h. Instalații în canale suspendate ICS. În cazul canalelor suspendate, conductoarele, tuburile și celelalte elemente de instalații se montează în canale acoperite sau deschise autoportante, independente de clădire (fig. 5.60).

Sistemul este foarte modern, fiind în mare măsură independent de construcție.

Conductoarele pot fi, după construcția canalului, așezate sau trase în acesta, fără o fixare suplimentară. Canalele pot fi utilizate și pentru fixarea corpurilor de iluminat general, ne mai fiind necesară fixarea separată pe construcție.

i. *Instalații în plinte IP.* Plinta utilizată în aceste instalații se compune dintr-un profil de bază din PVC dur extrudat 1, de dimensiunile plintei obișnuite, un profil de acoperire din folie PVC dur 2 și un profil de egalizare 3 (fig. 5.61).

După așezarea lor, plintele pot fi de perete, de pardoseală sau de pervaz (fig. 5.62).

Instalația IP prezintă o mare flexibilitate fiind în mare măsură independentă de clădire. Ea se poate combina cu alte tipuri de instalații (fig. 5.62).

j. *Instalații pe poduri PP.* Instalațiile PP ca și cele ICS permit așezarea conductoarelor și cablurilor în construcții cu puncte de sprijin îndepărtate unele față de altele. Ele permit instalarea unui număr mare de conductoare sau cabluri în mod rațional, cu manoperă redusă și cu posibilități mari de modificare ulterioară, după necesitate.

Podurile sînt de două feluri (fig. 5.63).

Podul de conductoare (cale), realizat din tablă perforată continuă, cu suport continuu și cu margini răsfrînte. Lățimea este de 100...400 mm, iar lungimea 2 m. Podurile pot fi așezate în cele mai variate poziții. Conductoarele sau cablurile se așează liber pe pod, fixarea lor se face numai cînd podul este vertical.

Planul de așezare a podului poate fi ales la orice înălțime, în funcție de economia generală a spațiului. Calea continuă permite și așezarea conductoarelor de secțiune redusă.

Podul de cabluri (grătar) are calea întreruptă. Strîngerea cablurilor în mănunchiuri simplifică mult lucrările de montaj și asigură folosirea rațională a spațiului.

Fixarea podurilor de corpul clădirii se poate face în multiple feluri, funcție de condițiile locale. Cîteva exemple de fixare sînt date în figura 5.64.

k. *Instalații în țevi autoportante TA.* Pentru realizarea acestui tip de instalații, țevile — care adăpostesc conductoarele — se leagă împreună, formînd un

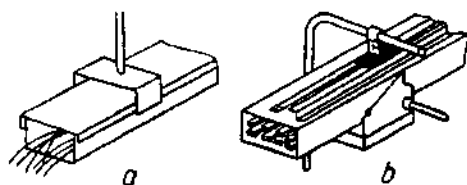


Fig. 5.60. Canale din tablă de oțel: a — suspendat, pentru conductoare; b — sprijinit, pentru bare

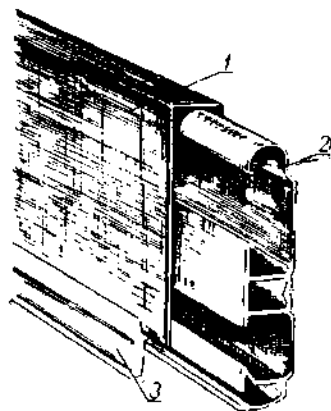


Fig. 5.61. Plintă pentru instalație electrică.

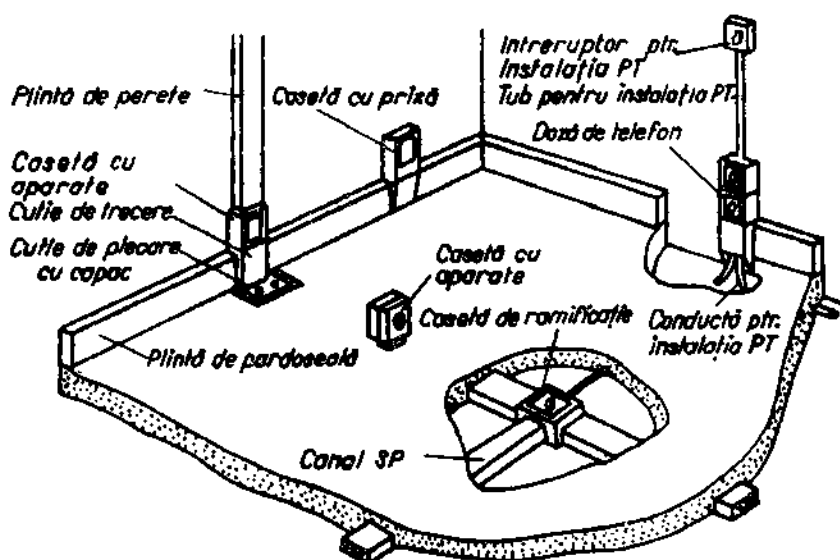


Fig. 5.62. Exemplu de combinare a instalațiilor : pe tencuială, sub pardoseală, în plintă

ansamblu monolit. Pentru a asigura o stabilitate mare sistemului și a păstra o distanță de minimum 10 mm între țevi, între punctele de fixare se dispun punți distanțoare (fig. 5.65). În acest fel, distanța între punctele de fixare poate atinge 3...5 m. La distanțe de maximum 15 m trebuie instalate cutii de distribuție, care se fixează rigid pe țevi. Conductoarele se instalează în țevi abia după montarea definitivă a acestora. Execuția instalației și fixarea ei de corpul construcției se face în moduri foarte diferite, în funcție de posibilități (fig. 5.66).

La oricare din sistemele utilizate o problemă extrem de importantă este coordonarea cu alte tipuri de instalații (încălziri, sanitare, gaze, ventilare și frig), în sensul păstrării distanțelor de gardă și evitării suprapunerilor pericu-

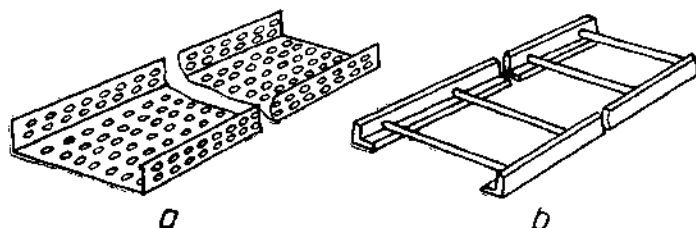


Fig. 5.63. Pod : a — de conductoare ; b — de cabluri

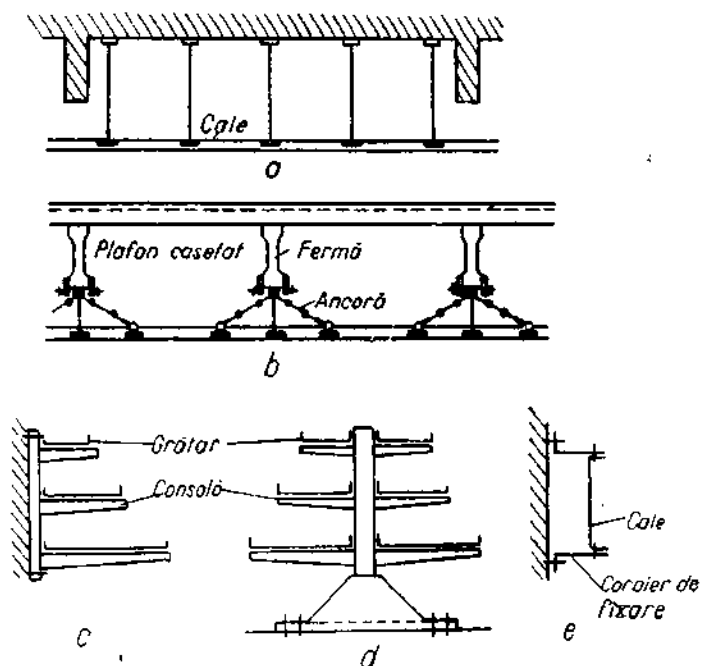


Fig. 5.64. Exemple de execuție a podurilor : a — atîrnare de plafon cu cîrlige ; b — ancorare de fermă ; c — consolă de perete ; d — suport dublu ; e — registru



Fig. 5.65. Țevi autoportante

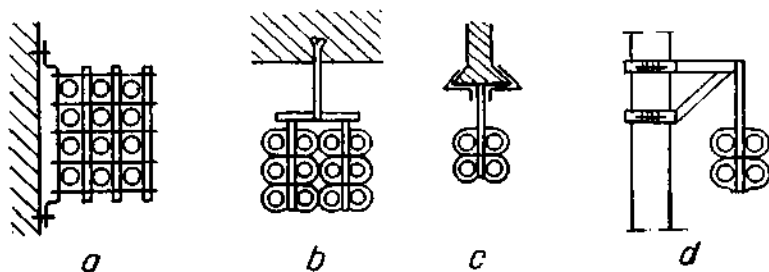


Fig. 5.66. Exemple de execuție a instalațiilor în țevi autoportante :
a — montare pe perete ; *b* — cu punte fixată în beton ; *c* — cu punte
 fixată pe fermă ; *d* — cu punte fixată pe țevă

loase din punct de vedere funcțional și al protecției muncii. În /50/ sînt date precizări asupra distanțelor de gardă la trasee, aparataje și elemente de distribuție.

De asemenea traseele de instalații electrice trebuie corelate cu structura de rezistență a construcției, în scopul evitării slăbirii sau deteriorării acesteia.

LINII ȘI REȚELE ELECTRICE AERIENE ȘI SUBTERANE LA CONSUMATOR

Prin linie electrică la consumator se definește ansamblul: elemente conductoare, elemente izolatoare și eventual de susținere (la linii aeriene) care au rolul de a transporta energia electrică între două sau mai multe obiective din incinta consumatorului. Atunci când liniile alcătuiesc un ansamblu de distribuție, ele constituie o rețea în incinta consumatorului (v. cap. 5).

Pentru astfel de linii se utilizează tensiunea joasă și medie, în funcție de puterea transportată și de distanță.

Creșterea tensiunii de transport înseamnă micșorarea intensității curentului (rel. 5—24). Ca urmare odată cu creșterea tensiunii se micșorează secțiunea conductoarelor, pierderile de putere (rel. 4—1) și pierderile de tensiune (rel. 4—52), ceea ce reprezintă importante avantaje sub aspect tehnic și economic.

Pe de altă parte însă, ridicarea tensiunii mărește cheltuielile de investiții prin necesitatea îmbunătățirii condițiilor de izolare. De aceea, tensiunea de transport se stabilește la o valoare optimă, corespunzând minimului cheltuielilor totale (de investiții și de exploatare).

Din punctul de vedere al poziției față de sol, liniile sînt aeriene (conductoare neizolate sau cu o izolare sumară la intemperii) și subterane (conductoare complex izolate).

Tabelul 6.1.

Liniile aeriene se caracterizează prin cost redus, prin timp de construcție scurt, cu personal de calificare medie și mică, și prin ușurința cu care se detectează și remediază defectele.

Liniile subterane au un cost ridicat, dar se pot instala în cadrul incintelor avînd o protecție sigură; ele sînt mascate (corespund din punct de vedere estetic și prezintă siguranță în funcționare, întrucît nu sînt influențate de unii factori atmosferici (polei, trăsnet).

Din punct de vedere al tensiunii și importanței lor, liniile aeriene se pot clasifica în trei categorii (tab. 6—1).

Categoria	Tensiunea nominală a liniei U [kV]	Categoria consumatorilor alimentați din punctul de vedere al siguranței în exploatare
I	$U > 35$ $20 < U \leq 35$ $1 < U \leq 20$	independent de categorie categ. I și II categ. I
II	$20 < U \leq 35$ $1 < U \leq 20$	categ. II categ. II și III
III	$U < 1$	independent de categorie

6.1. LINII ELECTRICE AERIENE

Liniiile electrice aeriene, prin alcătuirea lor simplă, au o largă întrebuințare în incintele mai puțin pretențioase.

O linie aeriană este compusă din : conductoare (tratate la capitolul 3), stâlpi, izolatoare și accesorii.

6.1.1. STÎLPI PENTRU LINIILE AERIENE

Stâlpii au rolul de a susține conductoarele și accesoriile de montaj (izolatoare, suport, console).

Din punctul de vedere al funcțiunii, stâlpii se clasifică în următoarele categorii.

Stâlpi de susținere, care au rolul de a susține conductoarele în aliniament, fiind solicitați la greutatea proprie a conductoarelor și la forța datorită vântului.

Stâlpi de întindere (tracțiune), care servesc la întinderea conductoarelor liniei și la localizarea defectului la ruperea conductoarelor dintr-o parte a liniei, fiind solicitați la forța produsă de conductoarele rămase.

Stâlpi de colț, care servesc la realizarea schimbărilor de direcție, traversări, încrucișări, fiind solicitați la aceleași eforturi ca și stâlpii de întindere.

Stâlpi terminali, se amplasează la capetele liniei, servind la preluarea eforturilor de întindere a conductoarelor.

Din punctul de vedere al materialului, stâlpii se pot clasifica în: stâlpi de lemn, stâlpi de beton armat, stâlpi metalici.

6.1.1.1. Stâlpii de lemn se utilizează în rețelele de joasă tensiune de importanță redusă sau provizorii (șantier) cu o deschidere sub 60 metri, caracterizându-se prin cost redus și simplitate în execuție. Se confecționează din lemn de rășinoase impregnat cu substanțe uleioase sau din foioase arse și bituminate la partea introdusă în pământ.

În terenurile sănătoase plantarea stâlpilor se face prin săpătură și umplutură de pământ bătută. În terenurile slabe, umplutura se consolidează cu buraje de piatră sau adaosuri de beton, lemn etc. În terenurile umede stâlpii se fixează cel mai sigur cu ajutorul unor clești de beton armat (fig. 6.1).

6.1.1.2. Stâlpii de beton armat se caracterizează printr-o rezistență mecanică ridicată și rezistență în timp la acțiunea agenților atmosferici; ei nu sînt inflamabili, se confecționează relativ ușor, atunci cînd sînt produși

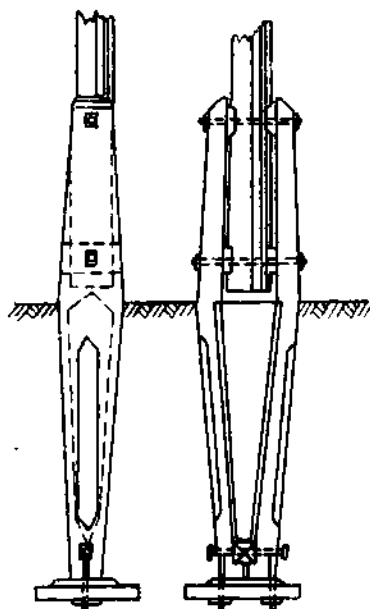


Fig. 6.1. Clești de beton armat pentru fixarea stâlpilor de lemn în terenuri umede

pe cale industrială, și se pot utiliza ca stâlpi ce preiau eforturi orizontale fără a fi construiți sub formă compusă.

Din punctul de vedere al tehnologiei de execuție, se deosebesc stâlpi simpli turnați în cofraj, stâlpi cu armătură precomprimată, stâlpi vibrați, stâlpi centrifugați.

Din punctul de vedere al formei secțiunii, se confecționează stâlpi cu profil I, dublu T sau coroană circulară.

Stâlpii de beton utilizați pentru susținere se plantează în pământ sănătos, simplu prin săpătură și umplutură cu batere, iar în pământ slab cu buraj din piatră. Stâlpii de întindere, capăt, colț sau de utilizări comune se fixează în fundații din beton armat, iar la eforturi orizontale mari se întăresc cu ancore.

6.1.1.3. Stâlpii metalici, fiind executați dintr-un material scump și cu utilizări mai importante, sînt folosiți numai în cazuri speciale, de exemplu, cînd considerentele arhitecturale într-un ansamblu social-cultural foarte important impun alegerea acestei soluții, în vederea obținerii unor elemente suple pentru iluminatul exterior. Se folosesc stâlpi din țevă și stâlpi cu zăbrele (utilizați în linii de transport de înaltă tensiune în afara incintei consumatorilor).

6.1.2. ACCESORIILE LINIILOR ELECTRICE AERIENE

6.1.2.1. Izolatoarele au rolul de a sprijini conductoarele. Ele se confecționează în general din porțelan cu rezistență mare de rupere ($1\,700\text{ da N/cm}^2$) și o tensiune de străpungere corespunzătoare tensiunii de utilizare.

Din punctul de vedere al tensiunii, izolatoarele sînt de joasă tensiune și de medie tensiune. Din punct de vedere al funcțiunii, izolatoarele de joasă tensiune sînt de susținere, de tracțiune și pentru siguranțe* (fig.6.2).

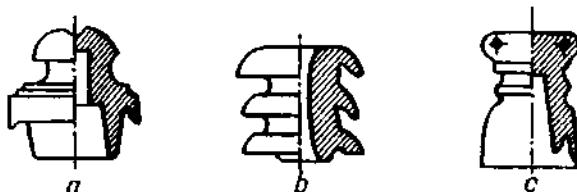


Fig. 6.2. Izolatoare de joasă tensiune; a — de susținere; b — de tracțiune; c — pentru siguranțe

6.1.2.2. Suportii și consolele au rolul de a sprijini izolatoarele de joasă sau medie tensiune. Suportii de joasă tensiune se clasifică astfel:

- suporturi curbi din oțel rotund pentru stâlpi de lemn (fig. 6.3,a) care se fixează prin înșurubare;
- suporturi curbi din oțel rotund pentru fixare pe zidărie (cu coadă de rîndunică);
- suporturi curbi din oțel rotund pentru fixare pe elemente de construcție din beton armat sau metalice (cu filet);

* Izolatoarele pentru siguranțe fuzibile aeriene sînt prevăzute cu două creștături dispuse în două planuri, pentru fiecare buclă de fixare a conductorului de legătură la siguranțe.

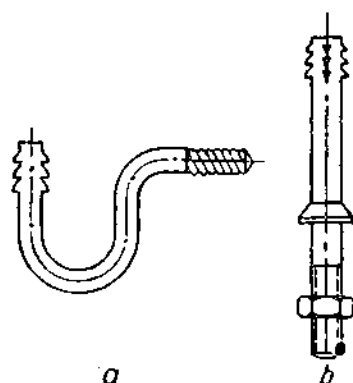


Fig. 6.3. Suporturi pentru izolatoare de joasă tensiune: a — suport curb pentru fixare pe stîlp de lemn; b — suport drept pentru fixare pe console

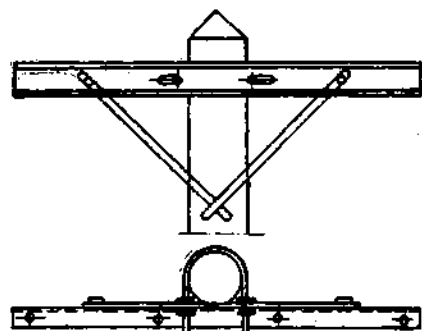


Fig. 6.4. Consolă orizontală pentru susținerea izolatoarelor

— suporturi drepte cilindrici cu contrapiuliță pentru fixare pe console (fig. 6.3,b).

Consolele de tracțiune sau de susținere se execută din oțel profilat (*U*) și se clasifică din punct de vedere al montajului în console orizontale (fig. 6.4) sau verticale. Alegerea soluției de amplasare a conductoarelor (orizontală sau verticală) este determinată de numărul conductoarelor, de înălțimea de montaj funcție de deschidere și de considerente de gabarite limită.

6.1.2.3. **Clemele de legătură** se folosesc pentru realizarea prelungirii conductoarelor, iar cele de derivație — pentru realizarea derivațiilor.

Clemele de legătură (fig. 6.5) trebuie să suporte forța de tracțiune transmisă de conductoarele înădite. Ele se confecționează din tuburi ovale de cupru, aluminiu sau oțel zincat, după materialul conductoarelor la care sînt utilizate, legătura realizîndu-se în general prin strîngere cu șuruburi (fig. 6.5, a). Pentru

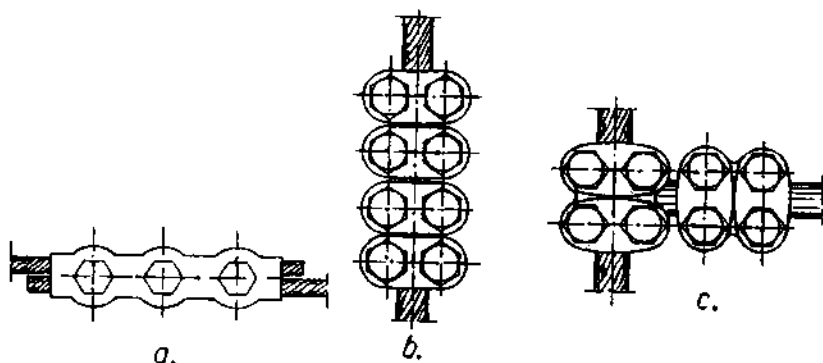


Fig. 6.5. Cleme de legătură și derivație: a — clemă de legătură ovală; b — idem, dreaptă; c — clemă de derivație dreaptă.

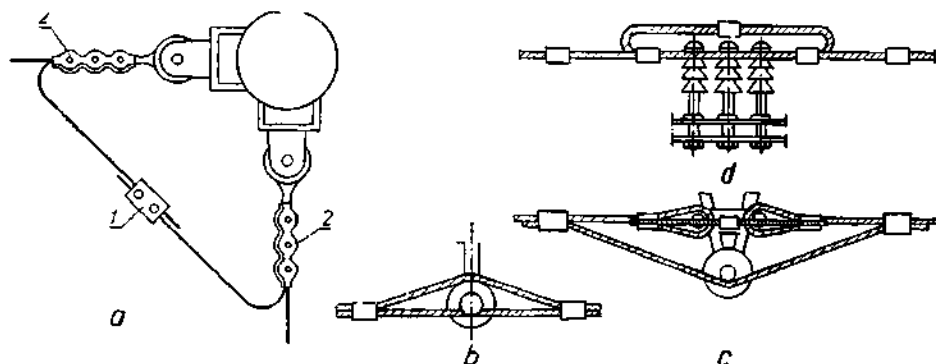


Fig. 6.6. Executarea legăturilor la capetele de linie și legăturilor de siguranță : *a* — legătură la cap de linie ; *b* — legătură de siguranță la același izolator ; *c* și *d* — idem, la un stîlp de întindere

secțiuni mai mari se folosesc cleme de legătură ca în figura 6.5, *b*, la care conexiunea este mai rezistentă din punct de vedere mecanic.

Un tip de clemă de derivație este dat în figura 6.5, *c*, la care se realizează de asemenea o conexiune rezistentă prin presiune cu șuruburi. La capetele de linie legătura se face ca în figura 6.6, *a*: legătura electrică 1 nu trebuie să fie solicitată mecanic, pentru a se evita mărirea rezistenței de contact. Solicitarea mecanică este preluată de clemă 2.

Liniile de medie tensiune, care traversează zone circulate din incinta întreprinderilor sau la traversarea căilor de comunicație, trebuie prevăzute cu legături de siguranță. În figura 6.6, *b* este dată o legătură de siguranță realizată la un stîlp de întindere.

6.2. LINII ELECTRICE SUBTERANE

Liniile electrice subterane, datorită avantajelor de securitate și siguranță în exploatare pe care le prezintă, se utilizează în incinta construcțiilor importante cu caracter definitiv. Liniile electrice subterane în incintă se realizează în cabluri pozate în pământ și mai rar în cabluri pozate în tuneluri sau tuburi.

6.2.1. LINII ELECTRICE SUBTERANE REALIZATE ÎN CABLURI POZATE ÎN PĂMÎNT

Pozarea cablurilor în șanțuri este cel mai frecvent utilizată pentru simplitatea execuției și accesului în cursul exploatării.

În fig. 6.7, *a* este arătat un profil transversal printr-un traseu de cabluri. Cablurile 1 sînt montate pe un pat de nisip 2 ; pentru protejarea lor mecanică la dezgropare în cursul exploatării, ele se apără cu cărămizi 3 sau prefabricate

de beton. Adâncimea de pozare este mai mare sau egală cu 0,8 m, în scopul evitării zonei de îngheț care produce degradarea într-un timp scurt a cablurilor prin solicitarea produsă. Distanța minimă între cabluri diferă în funcție de tensiune (v. /35/).

Se observă că în patul de nisip cablul se așează șerpuit (fig. 6.16), pentru a evita eventualele eforturi de întindere datorite variațiilor de temperatură produse în cursul funcționării.

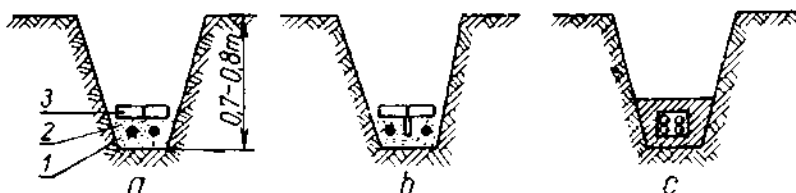


Fig. 6.7. Montarea cablurilor în pământ

Siguranța la montaj și în exploatare se obține prin montarea în săpătură a cablurilor de tip armat cu benzi de oțel și înveliș protector (preferabil din PVC). Traversările căilor de acces, intersecțiile cu alte tipuri de instalații sau cu alte cabluri trebuie prevăzute cu protecții suplimentare.

În figura 6.8 sînt reprezentate intersecțiile cablurilor cu căile de comunicație (drumuri). Pentru înlocuirea cablului fără deteriorarea drumului, cablul se

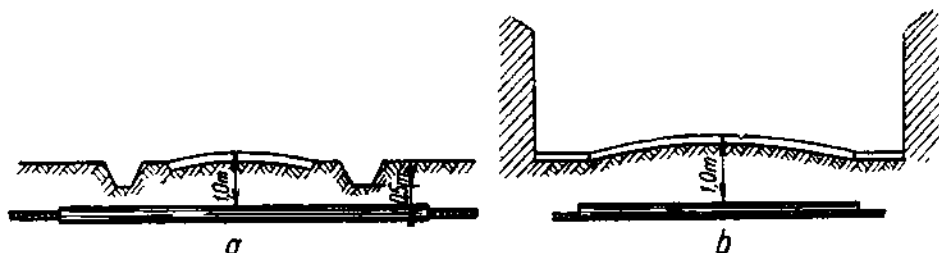


Fig. 6.8. Intersecția cablurilor cu căi de comunicație : a — drum cu șanțuri ;
b — idem, fără șanțuri

protejează în tub de protecție (tub cu secțiune patrată cu patru goluri, tub de beton cu secțiune circulară sau țevă din oțel zincat).

În figura 6.9 este redată intersecțarea cu o cale ferată. Intersecțiile dintre cabluri și instalațiile de telecomunicație, cabluri de joasă tensiune sau medie tensiune și conducte de apă sau canalizare reci sînt date în figurile 6.10, a, b și c.



Fig. 6.9. Intersecția cabluri — cale ferată

Probleme deosebite de izolare se pun la intersecția dintre cabluri și canale sau conducte termice. În figura 6.11 se vede traversarea unui canal termic pe deasupra (situație prefe-

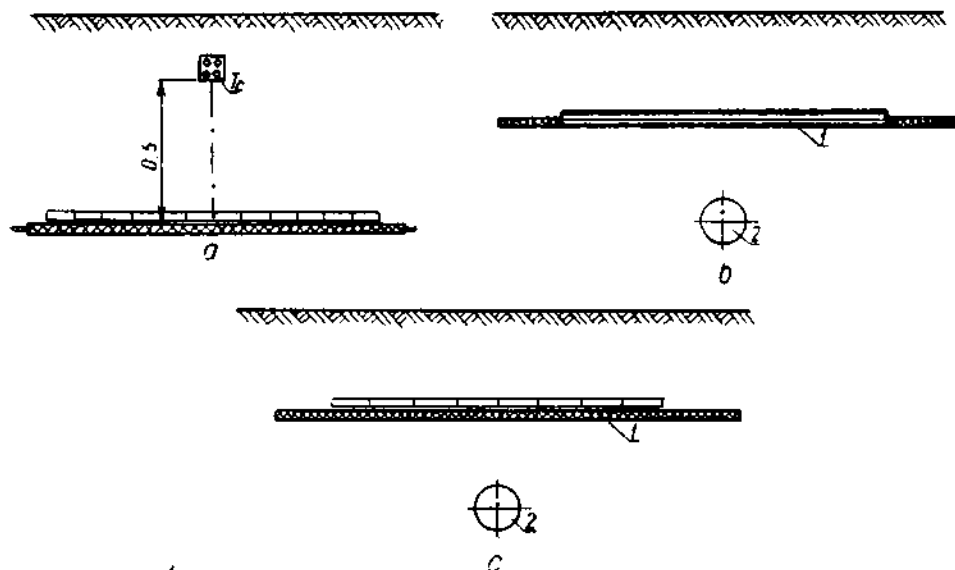


Fig. 6.10. Intersecția cablurilor cu alte tipuri de instalații: a — cabluri cu trasee de telecomunicații (T_c — canalizare de telecomunicații); b — cabluri de medie tensiune cu conducte de apă sau canal (1 — țevă protecție cablu; 2 — conductă apă sau canal); c — cabluri de joasă tensiune cu conducte de apă sau canal (1 — cablu; 2 — conductă de apă sau canal)

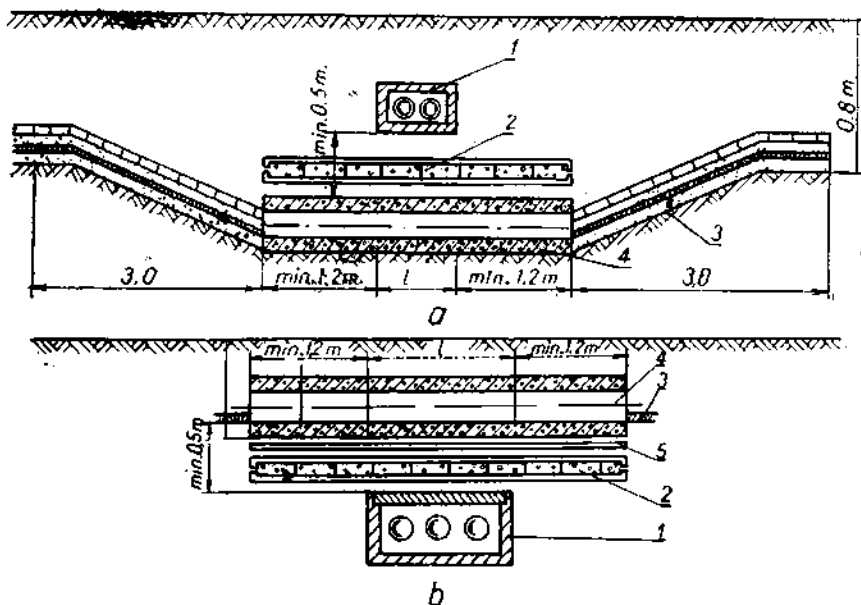


Fig. 6.11. Intersecția de cabluri — canal termic: a — pozarea cablului pe sub canalul termic (1 — canal termic; 2 — placă beton spongios cu izolație hidro-fugă; 3 — cablu; 4 — tub protecție cablu); b — pozarea cablului peste canalul termic (1 — canal termic; 2 — placă beton spongios cu izolație hidro-fugă; 3 — cablu; 4 — tub protecție cablu; 5 — placă de azbest)

tabilă), când cablul se protejează cu țeava 1 montată într-un pat de nisip, iar între cele două trasee se montează un placaj de azbest 2, o izolație hidrofugă 3, urmează apoi placa de beton a canalului termic.

Dacă pozarea se face pe sub canalul termic (fig. 6.11,b), atunci între cele două elemente 1 și 2 se montează o placă din beton monolit sau plăci de beton prefabricate 1 învelite într-o izolație hidrofugă. Intersecția a două trasee de cabluri nu pune probleme deosebite. La tensiuni diferite, între trasee se așează cărămizi de protecție.

6.2.2. LINII ELECTRICE SUBTERANE REALIZATE ÎN CABLURI POZATE ÎN TUBURI SAU TUNELURI

Dacă traseele de cabluri se execută sub acoperământul betonat al incintelor sau drumurilor interioare, a căror desfacere pentru intervenții în exploatare este dificilă, atunci traseele de cabluri se realizează în tuburi de protecție din beton (secțiune pătrată cu patru goluri sau secțiune circulară).

La schimbări de direcție, la derivații, la lungimi de peste 50 m, se prevăd cămine (camere de tragere) pentru tragerea cablurilor, înlocuirea lor și executarea derivațiilor. Căminele se izolează corespunzător, fiind necesar să aibă asigurată legătura la canalizare, pentru eliminarea eventualelor infiltrații de apă.

Dacă în incinta întreprinderii există tuneluri pentru alte instalații sau dacă numărul mare de cabluri justifică construirea unui tunel de cabluri, atunci se adoptă această soluție care prezintă mare siguranță în funcționare (fig. 6.12).

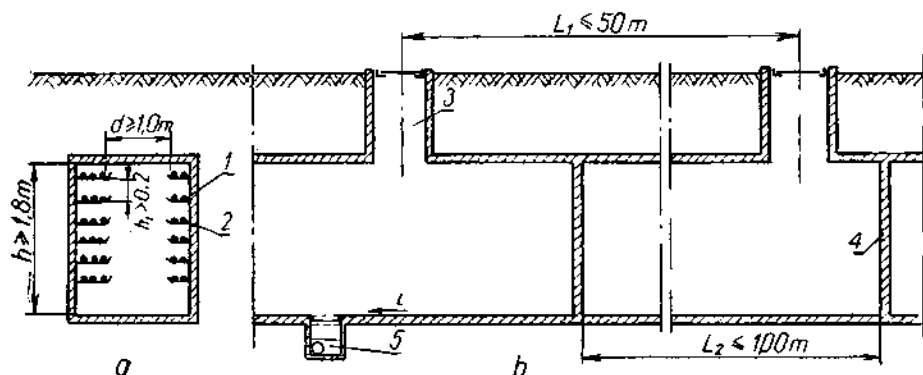


Fig. 6.12. Tunel de cabluri: a — secțiune transversală cu distanțe minime; b — secțiune longitudinală cu distanțe minime; 1 — cablu; 2 — raft sau console; 3 — cămin de vizitare; 4 — perete transversal pentru evitarea propagării incendiului (perete anti-foc); 5 — sifon de pardoseală

Tunelurile pot fi utilizate în comun cu alte instalații, cu condiția să nu conțină conducte ce transportă fluide inflamabile, iar conductele termice să fie bine izolate termic, pentru a nu depăși temperatura superficială de 40°C. Tunelurile trebuie să fie bine ventilate, pentru ca temperatura interioară să nu depășească

40°C și să aibă pantă și legătură la canalizare pentru a evita inundarea. Pentru a preîntîmpina propagarea focului în caz de incendiu, la o distanță de 100 m, se montează ziduri din beton antifoc.

Accesul în tuneluri se realizează prin căminele prevăzute la cel mult 50 m unul de altul. În interiorul tunelului, cablurile se montează pe tăvi sau console, păstrînd indicațiile de distanțe date de norme /50/, pentru realizarea condițiilor de protecție și de răcire a lor.

6.2.3. ACCESORII PENTRU LINIILE ELECTRICE SUBTERANE

Pentru realizarea conexiunilor liniilor electrice subterane sînt necesare diferite accesorii, ca manșoane de legătură și derivație, capete terminale, cleme.

În figura 6.13 este prezentat un manșon de legătură (joncțiune) pentru cabluri compus din: corpul manșonului din fontă (partea inferioară 1 și partea superioară 2), în interiorul căruia se realizează conexiunile cu cleme, peste care se toarnă masa izolantă bituminoasă sau galbenă (uleioasă) pînă la umplerea volumului manșonului. Turnarea se face prin orificiul astupat de capacul 3. Asamblarea manșoanelor se realizează prin șuruburi mecanice 4, care presează garnituri de iută impregnată.

În figura 6.14 este reprezentat un manșon de derivație, în care se poate face legătura, fie fără tăierea conductoarelor principale (preferabil), fie prin tăiere.

Pentru racordarea cablurilor la tablourile generale, principale, secundare sau la diverse receptoare, se utilizează capetele (cutiile) terminale.

În figura 6.15, *a* este prezentată o cutie terminală pentru interior, fără probleme speciale de etanșare, iar în figura 6.15, *b*—o cutie terminală de exterior pentru medie tensiune, la care se prevăd și izolatoare de trecere 1; corpul cutiei este umplut cu masă bituminoasă.

Între manșoanele de derivație sau legătură și cablurile alăturate se lasă o distanță de gardă de 25 cm, pentru asigurarea posibilității de intervenție în exploatare (fig. 6.16).

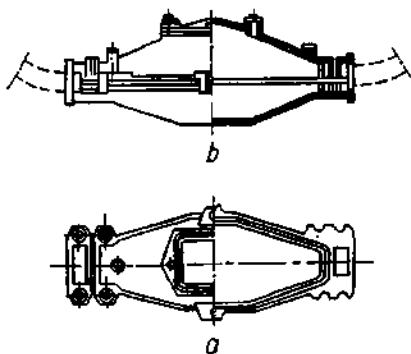


Fig. 6.13. Manșon de legătură (joncțiune): *a* — vedere și secțiune de sus; *b* — idem, laterală

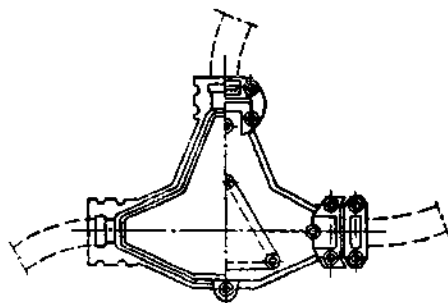


Fig. 6.14. Manșon de derivație (vedere și secțiune)

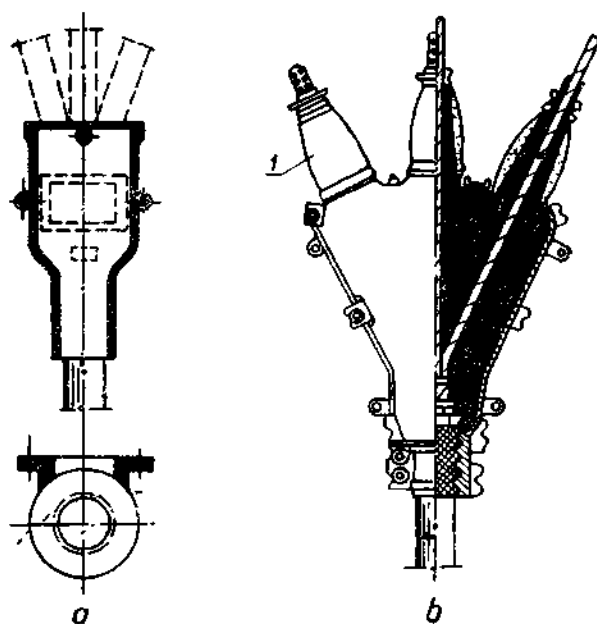


Fig. 6.15. Cutii terminale: *a* — cutie de interior de joasă tensiune (vedere de sus și secțiune transversală);
b — cutie de exterior de medie tensiune

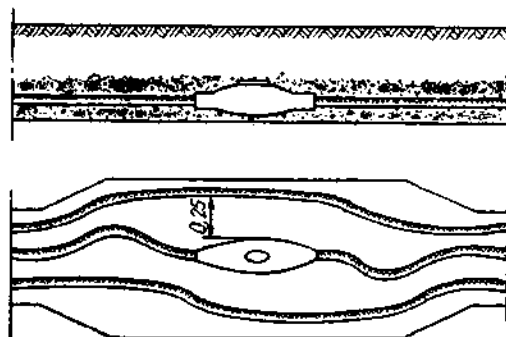


Fig. 6.16. Montarea manșoanelor în săpătură

6.3. CALCULUL LINIILOR ELECTRICE

Din punct de vedere electric, calculul liniilor aeriene și subterane de joasă și medie tensiune se întocmește în conformitate cu cele indicate în capitolele 4 și 5. În plus însă, liniile aeriene, datorită eforturilor ce apar în conductoare, necesită un calcul mecanic suplimentar de verificare a secțiunii determinate în funcție de rezultatele calculului electric.

6.3.1. CALCULUL MECANIC AL LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Atât la montaj cât și în exploatare, pentru a evita ruperea conductoarelor, liniile electrice trebuie să îndeplinească anumite condiții de rezistență, dictate de eforturile ce apar datorită sarcinii determinate de greutatea proprie a conductorului, sarcinii datorate chiciurii în timpul iernii, sarcinii din vânt și datorită contractării conductoarelor în timpul iernii. Pentru a evita ruperea conductoarelor la deschideri mai mari de 40 m, secțiunea trebuie verificată din punct de vedere mecanic; la deschideri mai mici, secțiunea rezultată din calculul la pierderea de tensiune și la încălzire este în general suficientă, însă în orice caz secțiunea trebuie să depășească următoarele valori minime:

- conductoare de cupru mono- sau multifilare 6 mm²
- idem, de aluminiu 16 mm²
- conductoare de oțel monofilare 2,75 mm²
- conductoare de oțel multifilare 6 mm²

În timpul verii, datorită dilatării conductoarelor, sau iarna datorită sarcinii suplimentare din chiciură, săgeata conductorului poate depăși limitele admise.

6.3.1.1. Considerente asupra săgeții și eforturilor ce apar în conductoarele liniei. Fie un conductor de lungime L între punctele A și B , situate la înălțime egală* (fig. 6.17). După cum se știe, conductorul ia forma curbei lănișorului. Se consideră un sistem de axe de coordonate rectangulare $x O y$, cu originea în O , la mijlocul deschiderii L dintre cele două puncte de suspensie.

Fie un element de conductor dL , asupra căruia se exercită forțele de întindere $(T, T+dT)$ și forța determinată de sarcina uniform distribuită g^{**} , în $[kg/(m \cdot mm^2)]$. Considerând conductorul aproape paralel cu solul, ceea ce se poate face fără eroare prea mare, se poate scrie:

$$dL = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx \sqrt{1 + (dy/dx)^2} \cong dx; \quad (6-1)$$

În aceste condiții sarcina elementului dL va fi: $g s dx$, în care s este secțiunea conductorului.

* Pentru calculele obișnuite, unde diferențele de nivel sînt mici, punctele A și B se pot considera practic la aceeași înălțime; pentru diferențe de nivel mari a se urmări /5/.

** Sarcinile specifice sînt forțele exercitate pe unitatea de lungime a conductorului, raportate la secțiunea acestuia.

Ecuatiile de echilibru static ale elementului dL sînt :

$$\left. \begin{aligned} (T+dT) \cos(\alpha+d\alpha) - T \cos \alpha &= 0 \\ (T+dT) \sin(\alpha+d\alpha) - T \sin \alpha - g s dx &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6-2)$$

Dezvoltînd $\cos(\alpha+d\alpha)$ și $\sin(\alpha+d\alpha)$ și aproximînd $\sin(d\alpha) \approx d\alpha$ și $\cos(d\alpha) \approx 1$, neglijînd infiniții mici de ordinul doi și reducînd termenii asemenea, sistemul (6-2) se pune sub forma :

$$\left. \begin{aligned} dT \cos \alpha - T \sin \alpha d\alpha &= 0 \\ dT \sin \alpha + T \cos \alpha d\alpha &= g s dx \end{aligned} \right\} \quad (6-3)$$

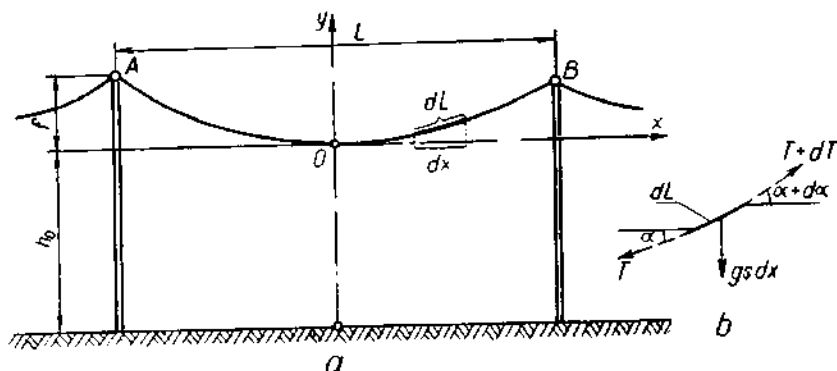


Fig. 6.17. Explicativă asupra liniei sprijinite la capete situate la înălțime egală :
a — ansamblul ; b — studiul forțelor asupra unui element infinit mic

Din prima ecuație (6-3) se obține :

$$\frac{dT}{T} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} d\alpha \quad (6-4)$$

sau, integrînd :

$$\ln T = -\ln \cos \alpha + \ln K. \quad (6-5)$$

Pentru determinarea constantei K se folosește condiția ca la $\alpha=0$, tensiunea în fir să fie :

$$T_0 = \sigma_0 s, \quad (6-6)$$

unde σ_0 este solicitarea în fir în punctul cel mai de jos al acestuia. Înlocuind condiția, se obține $K=T_0$, adică :

$$T = \frac{T_0}{\cos \alpha}. \quad (6-7)$$

Ținând seama de relația (6—7), a doua ecuație (6—3) se scrie :

$$T_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} dx + T_0 d\alpha = g s dx$$

sau

$$T_0 \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha} = g s dx; \quad (6-8)$$

integrând, rezultă :

$$T_0 \operatorname{tg} \alpha = g s x + k. \quad (6-9)$$

Constanta $k=0$, căci la $x=0$, $\alpha=0$; de aceea, ținând seama și de (6—6), ecuația (6—9) se scrie :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{g}{\sigma_0} x. \quad (6-10)$$

Pe de altă parte însă :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx}; \quad (6-11)$$

egalînd cele două expresii ale lui $\operatorname{tg} \alpha$, integrînd și punînd condiția ca pentru $x=0$, $y=0$, se obține *ecuația curbei conductorului în deschidere* sub forma :

$$y = \frac{g}{2\sigma_0} x^2. \quad (6-12)$$

Săgeata f se poate determina din ecuația (6—12) făcînd $x=l/2$; rezultă :

$$f = \frac{gl^2}{8\sigma_0}. \quad (6-13)$$

Pentru determinarea lungimii conductorului L se folosește relația (6—1) scrisă sub forma :

$$L = 2 \int_{x=0}^{x=l/2} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \approx 2 \int_0^{l/2} \left(1 + \frac{y'^2}{2}\right) dx; \quad (6-14)$$

ultima formă este valabilă pentru $y' \ll 1$, ceea ce este destul de exact pentru unghiurile α mici care se iau în considerație.

Dar $y' = \frac{gx}{\sigma_0}$; înlocuind în relația (6—14), se obține *lungimea conductorului în deschidere* :

$$L = 2 \int_{x=0}^{x=l/2} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{g^2}{\sigma_0^2} x^2\right) dx = 1 + \frac{g^2 l^3}{24 \sigma_0^2}. \quad (6-15)$$

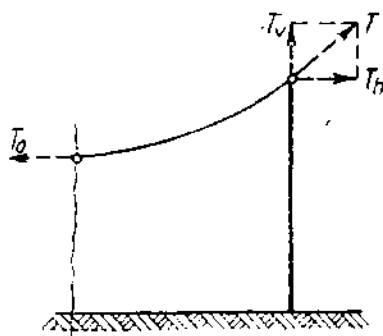


Fig. 6.18. Explicativă asupra forțelor ce intervin asupra unei jumătăți de conductor

Din figura 6.18 rezultă ecuația de echilibru static pentru o porțiune ($1/2 L$) de conductor:

$$\left. \begin{aligned} T_0 - T_h &= 0 \\ T_v - \frac{gL}{2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6-16)$$

Ținând seama de relația (6-6), se obține:

$$\left. \begin{aligned} T_h &= T_0 s \\ T_v &= \frac{gL}{2} \end{aligned} \right\} \quad (6-17)$$

iar forța de întindere totală rezultată:

$$T = \sqrt{T_h^2 + T_v^2} = s \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{1}{4} L^2 g^2}; \quad (6-18)$$

cum însă $\frac{1}{4} L^2 g^2 \ll \sigma_0^2$, (6-18) devine

$$T \approx s \sigma_0, \quad (6-19)$$

adică tensiunea în linie este practic constantă.

6.3.1.2. Ecuația de stare. Fie un conductor de lungime L_0 la temperatura de $\theta_0 = 0^\circ$, întins pe o suprafață plană, astfel încît să nu existe eforturi de întindere ($T=0$).

Dacă temperatura crește la θ_t , atunci conductorul se dilată, căpătînd lungimea $L_0(1+\alpha'\theta_t)$; dacă apoi conductorul este și întins cu o forță $T_t = \sigma_t s$, atunci el capătă lungimea:

$$L_t = L_0 (1 + \alpha' \theta_t) (1 + \beta \sigma_t), \quad (6-20)$$

unde $\beta = \frac{1}{E}$ este coeficientul de alungire elastică, iar E — modulul de elasticitate.

Lungimea conductorului este dată de relația (6-15). Notînd cu indicele t valorile pe care le iau parametrii la temperatura θ_t și sub solicitarea σ_t^{**} , relația (6-20) devine:

$$l + \frac{l^3 g_t^2}{24 \sigma_t^2} = L_0 (1 + \alpha' \theta_t) (1 + \beta \sigma_t); \quad (6-21)$$

* α' : coeficient de dilatare liniară termică.

** Temperatura și solicitarea firului determină „starea” acestuia.

dar $L_0 = l$, iar termenul $\alpha' \beta \sigma_t \theta_t \approx 0$ (căci α' și β sînt foarte mici); prin urmare relația (6—21) se scrie:

$$\frac{l^2 g_t^2}{24 \sigma_t^2} = \alpha' \theta_t + \beta \sigma_t \quad (6-22)$$

sau, împărțind relația (6—22) la β , se obține:

$$\sigma_t - \frac{l^2 g_t^2}{24 \beta \sigma_t^2} = - \frac{\alpha'}{\beta} \theta_t. \quad (6-23)$$

Pentru o altă stare de parametri θ , g și σ se obține:

$$\sigma - \frac{l^2 g^2}{24 \beta \sigma^2} = - \frac{\alpha'}{\beta} \theta. \quad (6-24)$$

Scăzînd din relația (6—24) pe (6—23) se obține:

$$\sigma - \frac{l^2 g^2}{24 \beta \sigma^2} = \sigma_t - \frac{l^2 g_t^2}{24 \beta \sigma_t^2} - \frac{\alpha'}{\beta} (\theta - \theta_t), \quad (6-25)$$

reprezentînd ecuația de stare care leagă cei șase parametri (σ_t , θ_t , g_t , σ , θ , g) din care, dacă se cunosc cinci, se poate determina al șaselea.

6.3.1.3. Ipoteze de calcul. Situația unei linii la montaj constituie una din stările ce trebuie luate în considerare. Pe de altă parte, montarea conductoarelor trebuie astfel realizată încît rezistența σ și săgeata f să nu depășească valorile admise. De asemenea, în exploatare, în oricare stare, limitele admise pentru mărimile indicate nu trebuie depășite, pentru ca conductoarele să nu se rupă sau să nu ajungă la gabarite sub cel de siguranță.

Condițiile de lucru se consideră realizate dacă întinderea dată firului la montaj este astfel aleasă încît rezistența și săgeata să fie în limite admisibile în următoarele ipoteze de calcul.

Ipoteza I

Situație de iarnă, cînd temperatura exterioară este $\theta_e = -5^\circ\text{C}$, conductorul fiind încărcat cu chiciură și supus unui vînt cu o presiune de 300 N/m^2 , la linii de categoria I și de 150 N/m^2 — la linii de categoriile II și III.

Ipoteza II

Aceeași ca și ipoteza I, dar fără vînt.

Ipoteza III

Situația de iarnă, cînd temperatura exterioară este minimă ($\theta_e = -30^\circ\text{C}$), conductorul fiind solicitat la greutate proprie.

Ipoteza IV

Situația de vară, cînd temperatura este maximă (zona A: $+40^\circ\text{C}$ și zona B: $+50^\circ\text{C}$)*.

* Zona B cuprinde aproximativ cîmpia Dunării, iar zona A — restul țării

Tabelul 6-2

Categoria liniei	Regiunea I*	Regiunea II
I	2	1,7
II	1,7	1,3
III	1,7	1,3

Valoarea maximă a rezistenței efective în conductor se obține în ipoteza I sau III datorită fie sarcinii maxime, fie tracției conductorului.

Valoarea maximă a săgeții efective se obține în ipoteza II (sarcină maximă) sau IV (alungire maximă).

Grosimea stratului de chiciură în cm se ia în funcție de regiunea în care se montează linia după tabelul 6-2.

În calculul de rezistență, coeficientul de siguranță se ia astfel :

conductor monofilar $K=2,5$;

conductor multifilar $K=2,0$.

6.3.1.4. Solicitarea maximă. În exploatare, datorită schimbărilor climatice, conductorul este solicitat în mod diferit în diferite stări. Solicitățile cele mai mari se produc în ipoteza I sau III. Este necesar să se determine care din cele două stări conduce la solicitarea maximă a firului.

În acest scop, ecuația de stare (6-25) se împarte la l^2 și făcând pe l să tindă către infinit ($l \rightarrow \infty$), se obține :

$$\sigma = \sigma_t \frac{g}{g_t}, \quad (6-26)$$

în care σ_t , g_t sînt parametrii la montaj, iar σ , g — parametrii într-o stare oarecare.

Se observă că la deschideri foarte mari solicitarea în conductor depinde numai de sarcina g , fiind independentă de temperatură.

Dacă în ecuația de stare deschiderea tinde către zero ($l \rightarrow 0$), se obține :

$$\sigma = \sigma_t - \frac{\alpha'}{\beta} (\theta - \theta_t), \quad (6-27)$$

din care rezultă că la deschideri mici solicitarea depinde numai de temperatură, fiind independentă de sarcină.

Se poate defini o *deschidere critică* (l_{cr}), peste care rezistența depinde numai de sarcină (maximă) și sub care rezistența depinde numai de temperatură (minimă).

Deschiderea critică reprezintă deschiderea pentru care solicitarea la sarcină maximă (-5°C) este egală cu solicitarea la temperatura minimă (-30°C).

Cunoscînd deschiderea critică se poate alege ipoteza de calcul corespunzătoare eforturilor maxime, prin comparare cu deschiderea reală.

Pentru determinarea deschiderii critice se consideră două stări, caracterizate prin solicitări efective egale în ipoteza I (-5°C) și III (-30°C) :

α . starea la care sarcina este maximă (g_M) (ipoteza I), căreia îi corespunde o solicitare maximă (σ_M) și temperatura corespunzătoare (θ_M);

* Regiunea I cuprinde zone montane și premontane cu înălțimi de peste 1 000 m, iar regiunea II — restul țării.

b. starea la care temperatura este minimă (θ_m) (ipoteza III), căreia îi corespunde o sarcină (g_m) și aceeași solicitare maximă (σ_M) egală cu cea din starea a. Scriind ecuația (6—25) pentru cele două stări, se obține:

$$\sigma_M - \frac{l_{cr}^2 g_m^2}{24 \beta \sigma_M^2} = \sigma_M - \frac{l_{cr}^2 g_m^2}{24 \beta \sigma_M^2} - \frac{\alpha'}{\beta} (\theta_M - \theta_m), \quad (6-28)$$

din care rezultă:

$$l_{cr} = \sigma_M \sqrt{\frac{24 \alpha' (\theta_M - \theta_m)}{g_m^2 - \sigma_M^2}}, \quad (6-29)$$

valoarea deschiderii critice, care se compară cu deschiderea reală l :

- dacă $l > l_{cr}$, calculul se face în ipoteza I (sarcină maximă);
- dacă $l < l_{cr}$, idem, în ipoteza III (temperatură minimă de iarnă).

6.3.1.5. **Săgeata maximă.** Datorită schimbărilor climaterice, săgeata conductorului poate fi maximă în ipoteza II (la sarcină maximă, datorită greutateii proprii și chiciurii) sau în ipoteza IV (la temperatură maximă, datorită dilatării termice a conductorului).

În mod analog cu deschiderea critică se poate defini o temperatură critică (θ_{cr}) reprezentând temperatura la care, datorită dilatării termice (ipoteza IV), are loc o săgeată egală cu cea care se produce la sarcina maximă (ipoteza II). Prin compararea temperaturii maxime de vară (θ_M) cu cea critică se obține ipoteza de calcul în care se produce săgeata maximă.

Fie f_{II} săgeata în ipoteza II și f_{IV} în ipoteza IV.

La temperatura critică:

$$f_{II} = f_{IV}. \quad (6-30)$$

Ținând seama de relația (6—15), rezultă relația de legătură între eforturi și sarcini la temperatura critică:

$$\sigma_{IV} = \sigma_{II} \frac{g}{g_{II}}. \quad (6-31)$$

Pentru determinarea temperaturii critice θ_{cr} se consideră două stări (ipotezele II și IV), pentru care săgețile sînt egale (condiția 6—30 este satisfăcută).

a. Starea caracterizată prin parametrii ipotezei a II-a (g_{II} , σ_{II} , θ_{II}).

b. Starea caracterizată prin parametrii ipotezei a IV-a, corespunzătoare temperaturii critice (g , σ_{IV} , θ_{cr}). θ_{cr} va fi temperatura la care, sub acțiunea numai a greutateii proprii, conductorul obține aceeași săgeată ca și cea pe care o obține în starea II (încărcat suplimentar cu chiciură).

Cu relația (6—25) se scrie ecuația de stare:

$$\sigma_{IV} - \frac{l^2 g^2}{24 \beta \sigma_{IV}^2} = \sigma_{II} - \frac{l^2 g_{II}^2}{24 \beta \sigma_{II}^2} - \frac{\alpha'}{\beta} (\theta_{cr} - \theta_{II}). \quad (6-32)$$

Punînd condiția săgeții egale în cele două stări și introducînd relația (6—31) în relația (6—32), se obține:

$$\theta_{cr} = \theta_{II} + \sigma_{II} \frac{\beta}{\alpha'} \left(1 - \frac{g}{g_{II}} \right). \quad (6-33)$$

Se compară temperatura critică (θ_{cr}) cu temperatura maximă de vară din zona respectivă. Atunci :

— dacă $\theta_{cr} < \theta_{max}$, săgeata se determină pentru ipoteza IV ;

— dacă $\theta_{cr} > \theta_{max}$, săgeata se determină pentru ipoteza II.

6.3.1.5. **Aplicarea calculului mecanic în proiectare** comportă următoarele etape.

1. Determinarea sarcinilor de calcul și precizarea parametrilor ce intervin în calcul.

2. Determinarea deschiderii critice, care se compară cu deschiderea reală, funcție de care se alege ipoteza de calcul de rezistență.

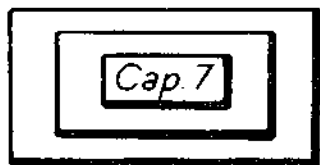
3. Determinarea săgeții maxime a conductorului pe baza comparării temperaturii critice θ_{cr} cu temperatura maximă de vară.

4. Trasarea *curbelor de montaj*. Aceste curbe reprezintă săgeata cu care trebuie să se monteze conductorul pentru temperaturile obișnuite la care se execută linia. În cursul montării conductorului, consultând termometrul care măsoară temperatura ambiantă și curba de montaj, se dă conductorului săgeata necesară ; în acest fel apare siguranța că, în funcționare, solicitarea în fir nu va depăși valoarea admisibilă.

Curbele de montaj se calculează cu ajutorul ecuației de stare (6—25), în care starea t se consideră o stare oarecare cunoscută ; cealaltă stare corespunde condițiilor de montaj (deci solicitare la greutate proprie, fără chiciură și fără vânt) ; temperatura variabilă, rezultă deci solicitarea $\sigma = f(\theta)$ drept rădăcina pozitivă a unei ecuații de gradul trei. Având curba $\sigma = f(\theta)$, relația (6—13) permite trasarea curbei $f = F(\theta)$, care este tocmai curba de montaj.

6.4. DEFECTE ÎN LINII ȘI DETERMINAREA LOCULUI DE DEFECT

Defectele care pot apare în linii sînt : întreruperea conductoarelor, punerea la pămînt a unor conductoare, scurtcircuitarea a două sau mai multor conductoare aflate la potențiale diferite (v. cap. 4). Dacă la liniile aeriene defectele se detectează foarte ușor prin urmărirea vizuală a liniei, la liniile subterane, care au conductoare mascate, locul de defect se determină prin metode electrice. Această problemă este tratată detaliat în /68/.



POSTURI DE TRANSFORMARE

Posturile de transformare, din punctul de vedere al modului de racordare la rețeaua furnizorului, se clasifică în:

- posturi de transformare de rețea, care furnizează energia electrică într-o porțiune din rețeaua de joasă tensiune urbană în exploatarea furnizorului;
- posturi de transformare de abonat, care sînt legate la rețeaua de medie tensiune a furnizorului, dar care servesc un singur consumator, la care se află și maneta de acționare a întreruptorului general al transformatorului;
- posturi de transformare ale consumatorilor, care sînt alimentate din rețeaua de medie tensiune a marilor consumatori industriali și sînt amplasate în cadrul secțiilor acestora sau sînt construcții independente.

Din punct de vedere funcțional, posturile de transformare pot fi independente sau asociate cu punctele de alimentare (cazul curent în rețelele urbane).

7.1. SCHEME PENTRU POSTURILE DE TRANSFORMARE

Instalația electrică în postul de transformare se reprezintă printr-o schemă, care urmărește realizarea condițiilor de funcționare și exploatare optimă. În figura 7.1 este dată o schemă simplă de racordare a unui post de transformare alimentat în vîrf dintr-o rețea aeriană. Intrarea se face prin separatorul S , protecția transformatorului se realizează prin siguranțele SI , iar protecția pe joasă tensiune prin siguranțele e', e_1, e_2, e_3 . Pentru evitarea supratensiunilor produse de descărcările atmosferice în linie se prevede descărcătorul D (v. cap. 3).

În figura 7.2 este dată schema unui post de transformare alimentat dintr-o rețea subterană, racordat în buclă la rețeaua de medie tensiune (1 și 2). De la barele postului B , prin separatoarele S_4, S_5 și întreruptoarele automate I_1 și I_2 , se alimentează transformatoarele T_1 și T_2 . Pentru eventualele extinderi s-a prevăzut și rezerva 3.

În figura 7.3 este dată schema unui post de transformare cu două unități pentru un consumator de categoria I, cu bare de medie tensiune independente B_1

și B_2 , fiecare bară fiind legată în buclă (bara B_1 — prin cablurile 1 și 2; bara B_2 — prin cablurile 3 și 4). Schema se pretează pentru a fi prevăzută cu AAR de joasă tensiune.

Din punctul de vedere al amplasării lor, posturile de transformare pot fi independente și amplasate în clădiri.

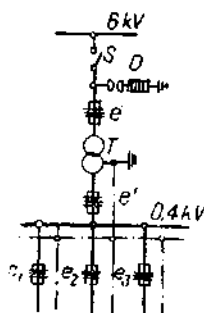


Fig. 7.1. Schema unui post de transformare alimentat în vîrf: S — separator; e — siguranță de medie tensiune; T — transformator; e' , $e_1 \dots e_3$ — siguranțe de joasă tensiune; D — descărcător

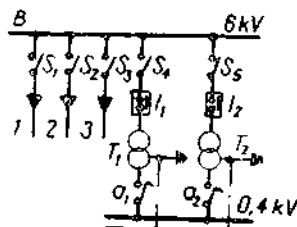


Fig. 7.2. Schema unui post de transformare alimentat în buclă: $S_1 \dots S_5$ — separatoare de medie tensiune; I_1, I_2 — întrerupătoare de medie tensiune; T_1, T_2 — transformatoare; a_1, a_2 — întrerupătoare automate de joasă tensiune

Din punctul de vedere al poziției față de teren, pot fi posturi subterane și posturi supraterane. Posturile supraterane sînt cele mai recomandabile, fiind ușor de întreținut prin accesul simplu și fără pericol de infiltrații ce apar la cele subterane.

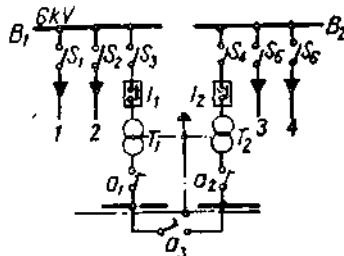


Fig. 7.3. Schema unui post de transformare: I_1, I_2 — întrerupătoare de medie tensiune; T_1, T_2 — transformatoare; a_1, a_2 — întrerupătoare de joasă tensiune

În cadrul întreprinderilor industriale (hale mari), cu consumatori de puteri mari concentrați pe o suprafață redusă, posturile de transformare se pot monta direct în hală, sub forma unor construcții metalice prefabricate.

Amplasarea posturilor de transformare în construcție independentă se face ținînd seama de distanțele la clădirile învecinate. Aceste distanțe sînt în funcție de gradul de rezistență la foc al construcțiilor învecinate, fiind indicate în normele de paza contra incendiilor /62/.

Posturile de transformare în clădire pun probleme dificile din punctul de vedere al plasării lor în construcție, trebuind să fie

luate în considerare: procesul de producție din punctul de vedere al pericolului de explozie ce-l prezintă, evitarea amplasării sub încăperi aglomerate sau încăperi de trecere, datorită efectului ce l-ar produce în caz de explozie. De asemenea, posturile de transformare nu se pot amplasa sub grupurile sanitare, datorită pericolului de infiltrații în caz de defectare a acestora.

7.2. CONSTRUCȚIA POSTURILOR DE TRANSFORMARE

În figura 7.4 sînt date planul și schema unui post de transformare de tip supra-teran cu două transformatoare. Partiu postului de transformare 1 cuprinde cabinele transformatoarelor 2, camera de medie tensiune 3 și camera de joasă tensiune 4. Traseele de cabluri în post se realizează în canale 5 în pardoseală, acoperite cu tablă striată sau cu prefabricate din beton. Intrarea și ieșirea cablurilor de medie și respectiv, joasă tensiune se protejează în tuburi de beton sau în țevi de oțel 6, montate în cofraje la turnarea fundației. Sub transformator se amenajează o cuvă pentru colectarea uleiului. Accesul în construcție se face prin cele patru uși figurate în plan.

Echipamentul electric al postului de transformare cuprinde următoarele.

a. Celulele de medie tensiune, notate cu I ... VI, ce alcătuiesc tabloul de medie tensiune 7 la care se racordează cablurile de alimentare 8. În celulele de medie tensiune este montat aparatajul de protecție, de conectare și eventual de măsură. Distribuția de medie tensiune se realizează prin barele colectoare 9, de la care se face legătura în cablu 10, pozat în canal, la transformatoarele 11.

b. Transformatoarele, de la care se face legătura la tabloul general de joasă tensiune 12, în bare sau în cablu, în funcție de posibilitățile constructive. De la tabloul general de joasă tensiune legarea tablourilor principale sau secundare se realizează în cablu (dacă construcția postului este independentă), sau în conductoare montate în tub (dacă postul este înglobat în clădire).

În figura 7.4 se poate urmări și legarea la pământ a neutrlui 13 la o priză de pământ de exploatare 15, presupunînd că în secundar transformatorul are conexiune în stea. De asemenea, prin conductorul 14 s-a realizat legătura la priza de pământ de protecție a carcaselor aparatajului de medie tensiune 16.

În general, în scopul evitării accidentelor, priza de pământ pentru protecție împotriva tensiunilor accidentale de atingere diferă de priza de pământ de exploatare, la care se leagă neutrul postului de transformare, în cazul alimentării receptoarelor cu sarcini nesimetrice.

Dacă însă rețeaua de medie tensiune este formată din cabluri armate cu înveliș de iută impregnată, atunci priza de pământ poate fi utilizată în comun, cu condiția ca mantaua metalică a cablului să fie legată la priza de pământ,

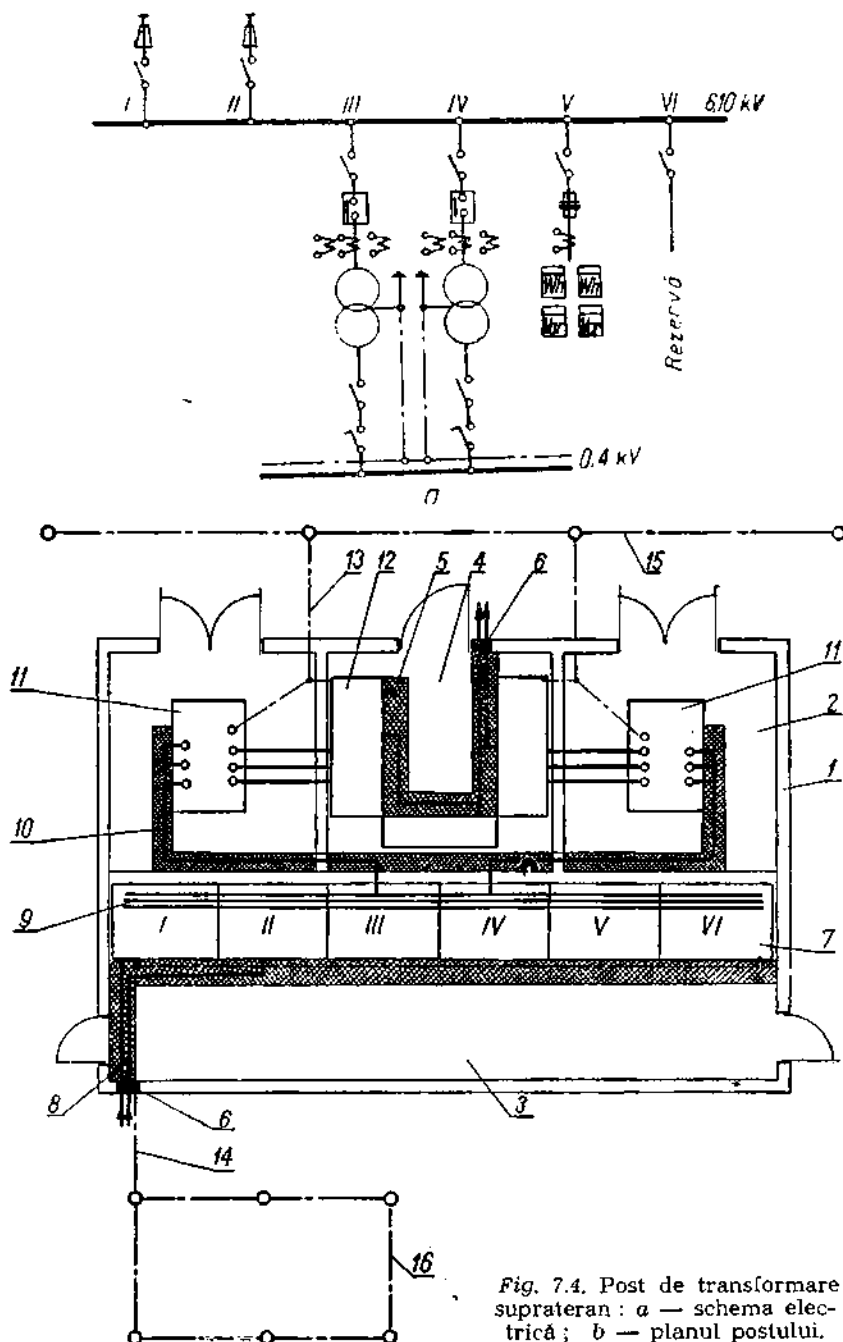


Fig. 7.4. Post de transformare supratension: a — schema electrică; b — planul postului.

iar lungimea cablului să fie mai mare de 3 km și postul de transformare să fie legat de cel puțin două cabluri. Se obține astfel o scădere a rezistenței prizei de pământ (fig. 7.5).

De asemenea, prizele de pământ se pot folosi în comun de către instalația de protecție și alte tipuri de instalații dacă este îndeplinită condiția :

$$R_p \leq \frac{U_{ad}}{I_p}, \quad (7-1)$$

în care R_p este rezistența prizei de pământ ; U_{ad} — tensiunea de atingere admisibilă pentru instalații de medie sau înaltă tensiune (65 V) ; I_p — curentul de punere la pământ stabilit pentru înaltă tensiune /63/.

Trebuie menționat că accesul în postul de transformare se face în general numai din exteriorul construcției, fiind permis și limitat la personalul de întreținere calificat al furnizorului, dacă postul face parte din rețeaua sa, sau al marelei consumator industrial, dacă postul este alimentat din rețeaua consumatorului de medie tensiune.

În stațiile de transformare (35/6,10 kV) pentru limitarea curenților de scurt-circuit, la plecările de 6,10 kV se utilizează reactoare (v. cap. 3).

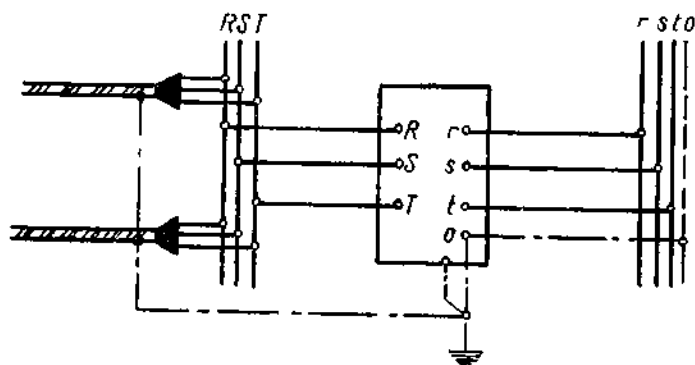


Fig. 7.5. Explicativă asupra condiției de legare comună la pământ a instalației de medie și joasă tensiune

În figura 7.6 este dată construcția unui post de transformare subteran cu un transformator.

Postul de transformare subteran prezintă însă unele dezavantaje mari din punctul de vedere al investiției și exploatării, enumerate mai jos.

- Izolația hidrofugă este foarte costisitoare.
- Necesită ventilație forțată, realizată, prin ventilatorul II, a cărui funcționare trebuie automatizată.
- Accesul în post, fie printr-o trapă mică 10 pentru întreținere curentă, fie printr-o trapă mare 9 pentru schimbarea transformatorului, este dificil.
- Postul poate fi inundat, fie datorită unei izolații defectuos executate, fie datorită infiltrației apelor meteorice prin trape, putând provoca accidente și degradarea echipamentului.

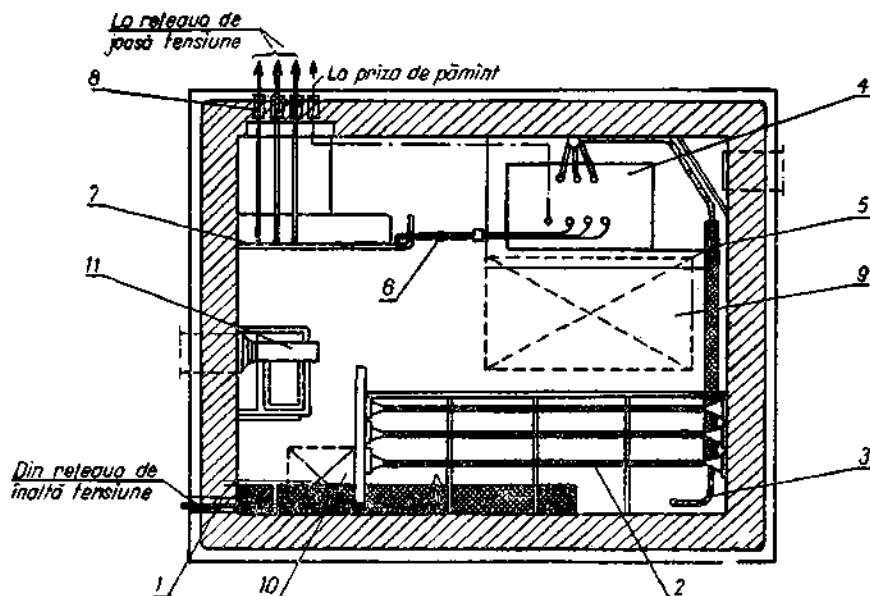


Fig. 7.6. Planul unui post de transformare subteran: 1 — tuburi de protecție pentru intrarea cablurilor; 2 — cabluri de medie tensiune; 3 — cablu de conectare a transformatorului; 4 — transformator; 5 — canal de cabluri; 6 — bare de distribuție; 7 — tablou de joasă tensiune; 8 — tuburi de racordare la instalația de joasă tensiune a consumatorului

În interiorul halelor industriale mari se utilizează posturi de transformare metalice (de hală) prefabricate, eventual în execuție capsulată, pentru a fi ferite de acțiunea agenților corosivi sau de praf.

Aceste posturi sînt compuse din elemente prefabricate, ce se pot asambla în așa fel încît să se obțină schema necesară. Ele sînt protejate, ușor de construit (prin asamblare), pot fi montate și mutate cu ușurință, ocupă un spațiu redus.

7.3. ECHIPAREA POSTURILOR DE TRANSFORMARE

7.3.1. TRANSFORMATORUL

Transformatorul reprezintă elementul de bază al postului de transformare, realizînd transformarea nivelului de tensiune în funcție de necesitățile de consum.

Tensiunile primare standardizate, la transformator, sînt: 6,10 kV, iar tensiunea secundară — 0,4 kV (la utilizare $3 \times 380/220$ V). Există și rețele vechi de distribuție cu tensiune secundară 0,22 kV (la utilizare $3 \times 208/120$ V).

Transformatoarele se pot monta în paralel dacă puterea cerută este mare sau dacă cerințele speciale de alimentare o impun, îndeplinindu-se însă con-

dițiile cunoscute : transformatoarele să poseze același raport de transformare, să facă parte din aceeași grupă de conexiuni, să aibă aceleași tensiuni de scurtcircuit, iar conectarea bornelor să fie corectă.

În general se evită funcționarea transformatoarelor în paralel, în măsura în care necesitățile de consum o permit, în scopul simplificării protecției și reducerii curenților de scurtcircuit în rețea (impedanța de scurtcircuit este mai scăzută la funcționarea în paralel).

7.3.2. APARATAJUL DE ÎNTRERUPERE ȘI SEPARAȚIE

Aparatajul de întrerupere și separație este montat în general în cadrul celulelor tabloului de medie tensiune, în care se montează și aparatajul de protecție, semnalizare și eventual măsură.

În figurile 7.7, *a* și *b* sînt reprezentate două secțiuni printr-o celulă de medie tensiune, făcînd parte dintr-un post de transformare din zidărie de cărămidă, celulă care materializează schema din figura 7.7, *c*.

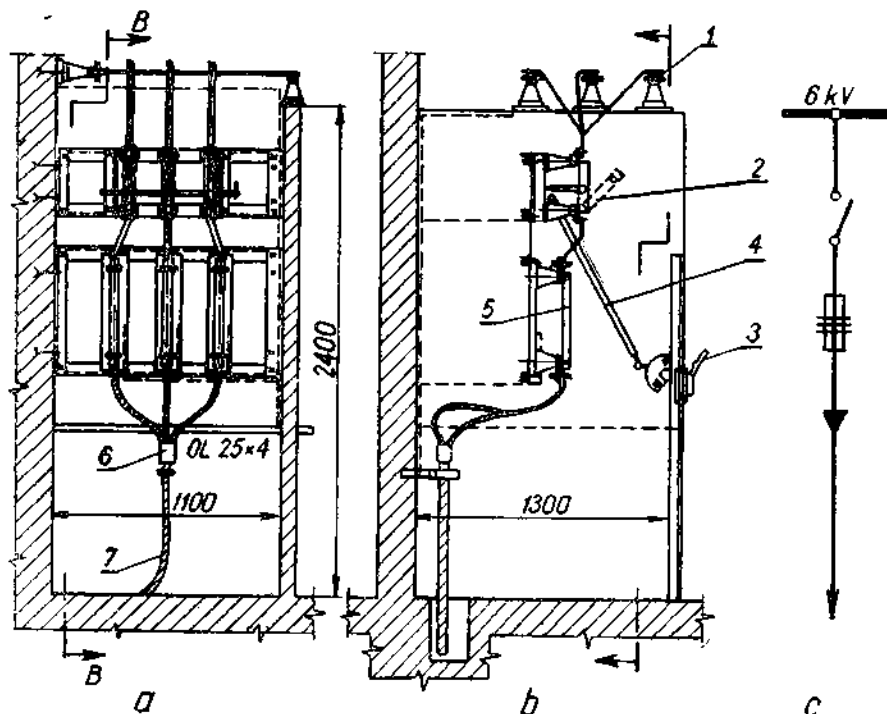


Fig. 7.7. Celulă de medie tensiune la un post de transformare : *a* — secțiune longitudinală ; *b* — secțiune transversală ; *c* — schema electrică a celulei. S-au notat : 1 — bare de distribuție de 6 kV ; 2 — separator ; 3 — manete de acționare indirectă ; 4 — tijă de acționare ; 5 — siguranțe de medie tensiune ; 6 — cutie terminală pentru cablu ; 7 — cablul de conectare a transformatorului.

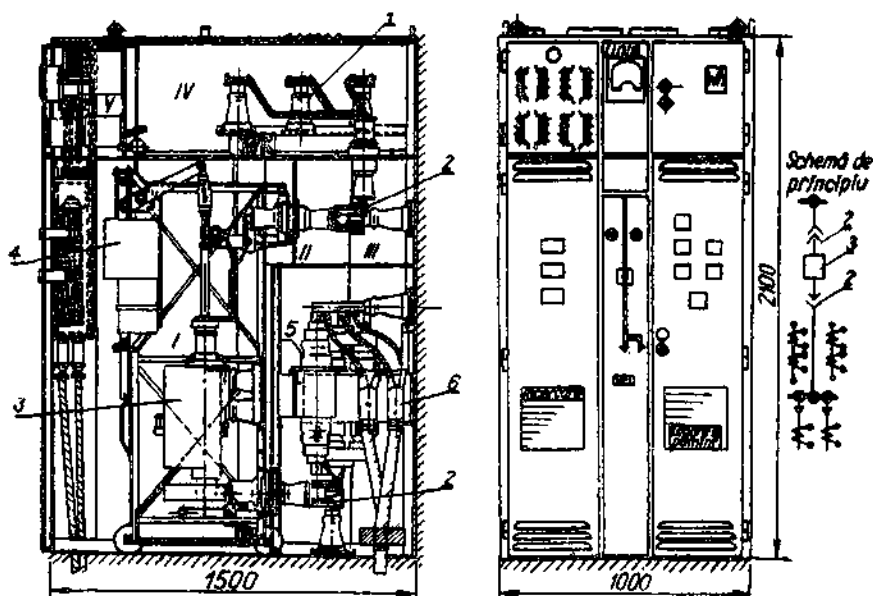


Fig. 7.8. Celulă de medie tensiune prefabricată : 1 — bare colectoare ; 2 — separatoare ; 3 — întrerupător ; 4 — dispozitivul de acționare a întrerupătorului ; 5 — transformatoare de curent ; 6 — capete terminale

În figura 7.8 este dată o celulă prefabricată de medie tensiune.

Se observă că celulele cuprind în primul rând aparatajul de conectare (separatoare) și protecție (siguranțe sau întreruptoare automate). De fapt întreruptoarele automate au un rol dublu : deconectare-conectare sub sarcină la comandă voită, și deconectare la defect datorită acțiunii unui releu de protecție. Separatoarele montate în celule au rolul separării pentru întreținere. Transformatoarele de puteri mici pot fi deconectate în gol prin intermediul separatoarelor de sarcină până la 400 A.

În tablou se montează și separatoare de legare la pământ (care leagă la pământ circuite fără tensiune), a căror acționare este comandată de deschiderea separatorului de linie, avînd rolul de a canaliza eventualele unde de supratensiune ce ar putea apare în liniile aeriene sau eventualele sarcini capacitive din liniile subterane.

Pentru deconectarea voită sau automată în caz de defect, transformatoarele sînt prevăzute cu întreruptoare automate.

Alegerea întreruptoarelor se face ținînd seama de caracteristicile rețelei și ale întreruptoarelor. Astfel trebuie îndeplinite condițiile înscrise în tabelul 7.1.

Parametrii rețelei ce intervin în tabelul 7.1 (I_c , i_s , I_∞ , t_f) se calculează în conformitate cu indicațiile date la capitolele 4 și 5, considerînd ipoteza cea mai dezavantajoasă a scurtcircuitului trifazat. Timpul real de deconectare (tim-

Tabelul 7.1

Caracteristicile întreruptorului	Condiția	Caracteristicile rețelei
I_{ni} = curentul nominal	$I_{ni} > I_c$	I_c = curentul de calcul
U_{ni} = tensiunea nominală	$U_{ni} \geq U_n$	U_n = tensiunea nominală
I_{di} = curentul nominal de deconectare	$I_{di} \geq I_{dsc}$	I_{dsc} = valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit în momentul întreruperii
S_{ri} = puterea nominală de rupere	$S_{ri} > S_{sc}$	S_{sc} = puterea de scurtcircuit corespunzătoare curentului de scurtcircuit I_{dsc}
i_{mxi} = valoarea curentului maxim de scurtcircuit	$i_{mxi} \geq i_{\phi}$	i_{ϕ} = curentul de șoc
i_{ci} = curentul de conectare	$i_{ci} \geq i_{\phi}$	—
i_{adi} = valoarea efectivă a curentului admis de stabilitate termică pentru timpul t , indicat de fabricant	$i_{adi} \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_f}{t}}$	I_{∞} = valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit stabilizat; t_f = timpul fictiv de scurtcircuit

pul propriu de deconectare și timpul de acționare a releului) se poate lua orientativ $t_r = 0,1 - 0,15$ s, la care se poate calcula I_{dsc} cu relația:

$$I_{dsc} = \sqrt{I_p^2 + I_a^2}, \quad (7-2)$$

în care: I_p este valoarea componentei periodice a curentului de scurtcircuit la t_r ; I_a — valoarea componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit la t_r .

Puterea de scurtcircuit S_{sc} este dată de relația:

$$S_{sc} = \sqrt{3} U_n I_{dsc} \quad (7-3)$$

unde S_{sc} , U_n , I_{dsc} au semnificațiile indicate.

Pentru calculele uzuale ale rețelelor de utilizare se poate lua $I_{dsc} = I_{sc} = I_{\infty}$, unde I_{sc} reprezintă componenta periodică a curentului de scurtcircuit (v. cap. 4).

7.3.3. SIGURANȚELE FUZIBILE

Protecția la supracurenți se poate realiza și prin siguranțele fuzibile de medie tensiune, ce pot înlocui numai întreruptorul sau se pot monta în serie cu separatorul de sarcină. Ele se folosesc pentru puteri de scurtcircuit sub 400 MVA, pentru transformatoare de puteri mici care alimentează consumatori de categoria III și pentru asigurarea circuitelor de măsură de medie tensiune.

Siguranțele trebuie să îndeplinească condițiile :

$$I_{sn} > I_c \quad (7-4)$$

$$I_{rs} > I_{asc} \quad (7-5)$$

$$S_{rs} > S'_{sc} \quad (7-6)$$

în care : I_{sn} este curentul nominal al siguranței ; I_c — curentul de calcul ; I_{rs} — curentul de rupere al siguranței ; I_{asc} — curentul de scurtcircuit la întrerupere (se poate lua egal cu valoarea curentului de șoc) ; S_{rs} — puterea de rupere a siguranței ; S'_{sc} — puterea de scurtcircuit corespunzătoare lui I_{asc} .

7.3.4. BARELE COLECTOARE

Barele din posturile de transformare au caracteristicile obișnuite (v. cap. 3), fiind calculate la stabilitate termică și dinamică la acțiunea curenților de scurtcircuit.

7.3.5. TRANSFORMATORE DE MĂSURĂ

Transformatoarele de curent și tensiune se aleg în funcție de clasa de precizie, de valoarea curentului și de impedanța circuitului de măsură Z_a . Astfel :

$$Z_a = \sum R_{ap} + R_c + 0,1, \quad (7-7)$$

unde : $\sum R_{ap}$ este suma rezistențelor bobinelor serie ale aparatelor de măsură [Ω] ; R_c — rezistența conductoarelor de legătură [Ω] ; 0,1 Ω — rezistența contactelor de legătură.

În relația (7-7) nu apare reactanța elementelor conductoare, fiind neglijabilă în raport cu rezistența lor. Transformatoarele trebuie verificate la condițiile de stabilitate la curenții de scurtcircuit (v. cap. 5).

7.4. PROTECȚIA ÎN POSTURILE DE TRANSFORMARE

Protecția transformatoarelor se face la supracurenți de natură externă (de suprasarcină sau scurtcircuit) și la defecte interne în transformator. Protecția la curenții de scurtcircuit se poate realiza prin două sisteme :

— la puteri mari, prin relele electromagnetice și declanșatoarele înglobate în întreruptoarele automate, care acționează asupra elementelor de întrerupere ;

— la puteri mici, prin siguranțe fuzibile de medie tensiune.

Protecția împotriva suprasarcinilor de durată, de valori mici, se realizează în general prin rele termice, montate la joasă tensiune, care acționează asupra întreruptoarelor automate montate în aceeași zonă a rețelei (fig. 7.9).

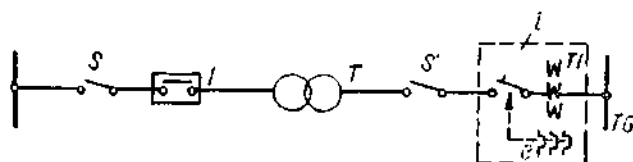


Fig. 7.9. Schema de principiu a legării întreruptoarelor automate : S — separator medie tensiune ; I — întreruptor automat înaltă tensiune ; T — transformator ; S' — separator joasă tensiune ; i — întreruptor automat joasă tensiune echipat cu rele termice RT , racordate prin transformatorul de intensitate TI

Utilizarea siguranțelor (fig. 7.10) în exclusivitate pe partea de joasă tensiune este economică și aplicabilă acolo unde nu pot apare suprasarcini, siguranțele lucrând satisfăcător la eventualele scurtcircuite pe barele de joasă tensiune. Această soluție este aplicabilă la consumatorii de lumină de categoria *III*.

La consumatorii de forță (industriali), unde suprasarcinile sînt frecvente, și la marii consumatori de lumină de categoria *I* și *II*, pentru evitarea întreprinderilor de mare durată, este necesară montarea întreruptoarelor automate de joasă tensiune (fig. 7.11).



Fig. 7.10. Protecție la joasă tensiune prin siguranțe fuzibile la consumatorii de lumină de putere mică : S — separator medie tensiune ; I — întreruptor medie tensiune ; T — transformator ; S' — separator joasă tensiune ; e — siguranță joasă tensiune

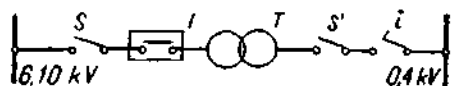


Fig. 7.11. Protecție la joasă tensiune cu întreruptor automat la consumatorii de lumină importanți și de forță : S — separator medie tensiune ; I — întreruptor ; T — transformator ; S' — separator de joasă tensiune ; i — întreruptor automat.

Protecția trebuie astfel dimensionată încât să asigure selectivitatea prin temporizare. Astfel, între releele electromagnetice ale întreruptorului de medie tensiune și cele ale întreruptorului automat de joasă tensiune este necesar să existe o temporizare suficientă pentru realizarea selectivității. Protecția împotriva defectelor interne se realizează prin releele cu gaz (cap. 8).

7.5. PUNCTE DE ALIMENTARE

Așa cum s-a menționat în capitolul 5, punctele de alimentare sînt stații de conexiuni de 6—10 kV, fiind în general asociate din considerente economice cu un post de transformare. Ele dau un caracter de elasticitate rețelei de medie tensiune prin posibilitățile de extindere ce le oferă pentru a satisface dezvoltarea întreprinderilor industriale. Utilizarea lor duce la reducerea numărului de celule prevăzute în stațiile de transformare, mai scumpe decît cele din punctele de alimentare. Acestea din urmă sînt mai simple, deoarece puterile de scurtcircuit sînt mai mici, la impedența de scurtcircuit adăugîndu-se și impedența liniilor și reactoarelor instalate în stațiile de transformare.

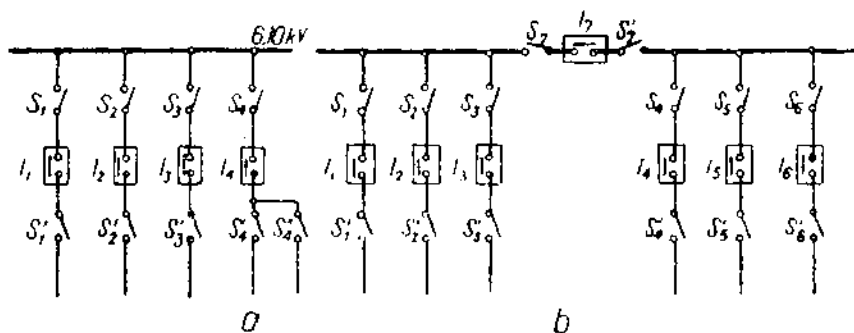


Fig. 7.12. Scheme de puncte de alimentare: *a* — cu sistem de bare simplu: $S_1 \dots S_4$ și $S'_1 \dots S'_4$ — separatoare; $I_1 \dots I_4$ — întreruptoare; *b* — cu bare secționate: $S_1 \dots S_7$ și $S'_1 \dots S'_7$ — separatoare; $I_1 \dots I_7$ — întreruptoare

Punctele de alimentare cuprind un tablou de distribuție de medie tensiune, compus din celule echipate cu separatoare și întreruptoare la fiecare plecare, urmărind realizarea unei anumite scheme.

În figura 7.12, *a* este dată schema unui punct de alimentare cu un sistem de bare simplu, iar în figura 7.12, *b* — o schemă cu bare secționate și cuplă, care se pretează aplicării unui sistem AAR. Ca și posturile de transformare, punctele de alimentare pot fi supraterane (economice) sau subterane (cu toate dezavantajele posturilor de transformare).

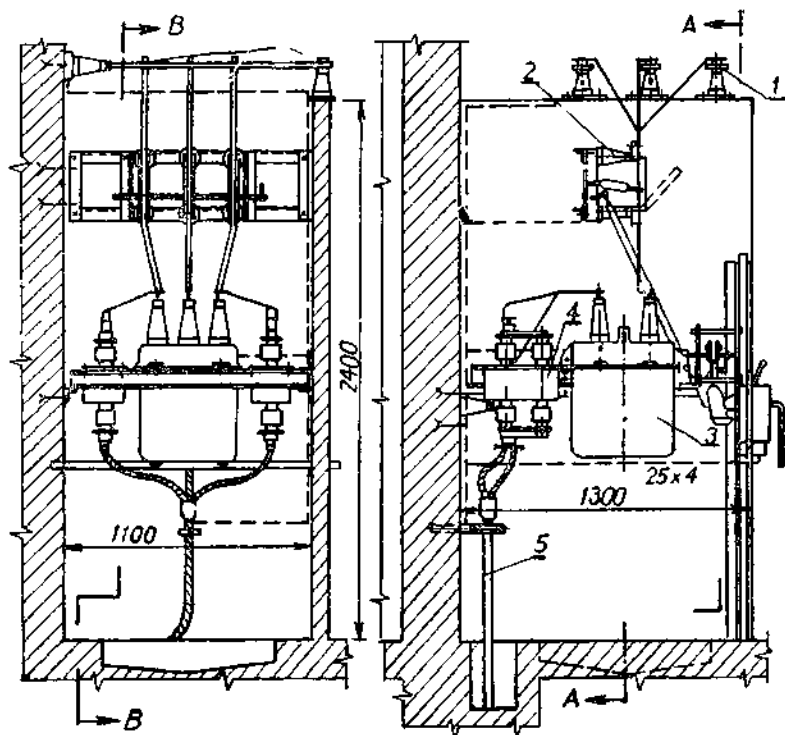


Fig. 7.13. Celulă de punct de alimentare

În figura 7.13 sînt date două secțiuni printr-o celulă a unui punct de alimentare echipat cu un separator 2, care face legătura de la barele 1 la întreruptorul cu ulei 3, de la care prin cutia terminală 4 se leagă plecarea în cablu 5.

Celulele punctelor de alimentare se pot realiza și de tip prefabricat, reducînd manopera de montaj și asigurînd totodată executarea la un nivel tehnic superior.

7.6. CONSIDERENTE ASUPRA ALEGERII NUMĂRULUI DE POSTURI DE TRANSFORMARE, PUNCTE DE ALIMENTARE ȘI A AMPLASAMENTULUI LOR ÎN CADRUL ANSAMBLULUI MARILOR CONSUMATORI INDUSTRIALI

Alegerea numărului de posturi de transformare și puncte de alimentare dintr-un complex se face ținînd seama de repartizarea posturilor în centrele de greutate ale sarcinilor (aducerea lor lîngă consumatorul secundar), și totodată, de principiul prevederii numărului minim de transformatoare necesare.

Etapele de alegere sînt următoarele :

- amplasarea în plan a sarcinilor cu tensiunile necesare, felul curentului și etapele de intrare în funcțiune;
- determinarea sarcinilor concentrate și a centrelor de greutate ale sarcinilor, grupate pe diverse categorii de consumatori secundari;
- amplasarea provizorie a posturilor de transformare în apropierea centrelor de greutate ale sarcinilor și repartizarea sarcinilor pe aceste posturi;
- fixarea tipului postului și dimensiunilor în funcție de caracterul receptoarelor;
- la amplasarea punctelor de alimentare și posturilor se are în vedere perspectiva dezvoltării energetice a zonei considerate;
- pe ansamblu se alege un număr cît mai mic de tipuri de posturi (dacă este posibil un singur tip);
- se urmărește cuplarea cu punctele de alimentare pentru realizarea de economii de investiții;
- alimentarea receptoarelor de medie tensiune se va face direct din barele postului.

Dacă schema are una din alcătuirile indicate la capitolul 5, ea se poate calcula după indicațiile de la capitolele 4 și 5, la pierdere de tensiune, încărcare și stabilitate termică. Dacă are un caracter complex (schemă urbană), calculul se poate face după /35/.

Pentru reglajul tensiunii în rețeaua de medie tensiune se folosesc transformatoare cu reglare sub sarcină (15—20%) sau autotransformatoare de reglaj.

În general, dacă nu există necesități speciale, transformatoarele sînt comune, umină-forță.

Asigurarea continuității în alimentarea cu energie a receptoarelor vitale (stația de pompă pentru incendiu, iluminat de siguranță și pază, ventilație de avarie etc.) se realizează din transformatoare ce nu se pot deconecta de la rețeaua de medie tensiune.

Cînd consumatorul are o centrală electrică proprie amplasată în incinta sa, atunci ea se cuplează cu un punct de alimentare dacă amplasamentul corespunde cu centrul de greutate al sarcinii. Dacă centrul de greutate al sarcinii diferă de poziția centralei, punctul de alimentare se amplasează separat în centrul de greutate, pentru a realiza o echilibrare a rețelei.

Fluxurile tehnologice paralele, în scopul siguranței în exploatare, se racordează la posturi de transformare independente cu alimentări din surse independente.

7.6.1. ALEGEREA NUMĂRULUI DE TRANSFORMATORE

Alegerea soluției este determinată de importanța consumatorului din punctul de vedere al siguranței în funcționare.

Astfel, consumatorii de categoria I trebuie să aibă alimentare permanentă (două surse independente). În acest scop, într-un post trebuie prevăzute minimum două unități alese în așa fel încît dacă o unitate este defectă, cea de-a

două să poată prelua întreaga sarcină aferentă receptoarelor vitale (categoria *I*) printr-un sistem *AAR* combinat cu *DAS* pentru deconectarea receptoarelor secundare.

Consumatorii de categoria *II* trebuie să fie de asemenea asigurați cu alimentare dintr-un post cu două unități. În caz de defect a uneia din unități, alimentarea se va face din cealaltă unitate prin supraîncărcarea acesteia în limita admisă și sacrificarea, prin comutări manuale, a receptoarelor secundare (categoria *III*). Aceasta este posibil dacă schimbarea unității defecte se poate face în două ore.

Consumatorii de categoria *III* se alimentează dintr-un post cu o unitate, cu condiția asigurării posibilității de schimbare a acesteia în caz de defect (transformator de rezervă în depozit).

Posturile de transformare ale marilor consumatori industriali pot fi echipate cu una, două sau mai multe unități.

Posturile cu o unitate se prevăd la consumatorii de categoria *III*, alimentarea receptoarelor de categoria *I—II* realizându-se și dintr-o altă sursă.

Posturile cu două unități se prevăd la consumatorii de categoria *I* și *II* în condițiile arătate. Pentru alegerea posturilor cu două unități se iau în considerare și următoarele caracteristici: curba de sarcină este neuniformă; apare necesitatea de amplificare ulterioară; dacă calculele tehnico-economice [35] dovedesc avantajele postului cu două unități față de postul cu o unitate; în scopul micșorării numărului de tipuri de transformatoare din întreprindere.

Posturile de transformare cu mai multe unități se utilizează numai în cazuri speciale, când această prevedere este absolut necesară și anume când consumatorul are sarcini concentrate de putere mare, sau este necesară separarea lumină-forță, sau când există condiții speciale de tehnologie sau exploatare.

Puterea totală a postului de transformare se alege în așa fel încât să fie acoperită puterea cerută de consumator P_c , precum și pierderile de putere Δp ale acestuia, iar transformatoarele să fie încărcate în medie la 75% din puterea nominală S_{nt} , în scopul acoperirii eventualelor suprasarcini și extinderilor curente. Atunci:

$$S_{nt} = \frac{P_c + \Delta p}{0,75 \cos \varphi_m}, \quad (7-8)$$

în care $\cos \varphi_m$ este factorul de putere mediu la consumator.

7.6.2. ALEGEREA TRANSFORMATOARELOR DINTR-UN POST DE TRANSFORMARE ȘI REGIMUL DE FUNCȚIONARE ECONOMICĂ A TRANSFORMATOARELOR

La alegerea puterii transformatoarelor din posturi trebuie să se țină seama de următoarele considerente funcționale:

— la posturile cu mai multe unități, la defectarea uneia din ele, celelalte să poată prelua întreaga sarcină, eventual cu sacrificii;

— transformatoarele să funcționeze în regim normal, pentru limitarea pierderilor, cu 70—80% din puterea nominală, așa încît să poată prelua supra-sarcini și să permită mici extinderi;

— transformatoarele de secții cu tensiune secundară de 0,4 kV este indicat să nu depășească 1 000 kVA, iar la tensiuni secundare de peste 0,5 kV să nu depășească 1 800 kVA, cifră stabilită în urma unor calcule tehnico-economice pe un număr mare de rețele;

— pentru ca posturile de transformare cu transformatoare legate în paralel să funcționeze economic, este necesar ca unitățile de transformare să funcționeze cu pierderi de putere totale minime.

Pierderile de putere totale Δp_t se compun din pierderile de putere activă din transformator, Δp și pierderile de putere activă din rețelele de transport și distribuție, datorite circulației de putere reactivă consumată de transformator, Δq :

$$\Delta p_t = \Delta p + K_e \Delta q. \quad (7-9)$$

K_e este echivalentul energetic al puterii reactive [kW/kvar] (v. cap. 10).
Conform capitolului 4,

$$\left. \begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_{Fe} + \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \Delta p_{Cu_n} \\ \Delta q &= \Delta q_{Fe} + \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \Delta q_{Cu_n} \end{aligned} \right\}; \quad (7-10)$$

particularizînd relațiile (7—10) pentru regimul de mers în gol și regimul de scurt-circuit, se obțin:

— pierderile active în transformator la mersul în gol;

$$\Delta p_0 = \Delta p_{Fe}; \quad (7-11)$$

— pierderile active în transformator la scurtcircuitul de probă:

$$\Delta p_{sc} = \Delta p_{Cu_n}; \quad (7-12)$$

— pierderile de putere reactivă ale transformatorului la mersul în gol:

$$\Delta q_0 = \Delta q_{Fe}^r; \quad (7-13)$$

— pierderile de putere reactivă ale transformatorului și rețelei la mersul în scurtcircuit de probă:

$$\Delta q_{sc} = \Delta q_{Cu_n}. \quad (7-14)$$

Înlocuind în relația (7—10) și apoi în relația (7—9), se obține:

$$\Delta p_t = \Delta p_0 + K_e \Delta q_0 + \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 (\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}). \quad (7-15)$$

În cazul funcționării în paralel a n transformatoare, pierderile în cele n transformatoare (Δp_n) vor fi:

$$\Delta p_n = \sum (\Delta p_0 + K_e \Delta q_0) + \left(\frac{S_t}{S_n} \right)^2 \sum (\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}), \quad (7-16)$$

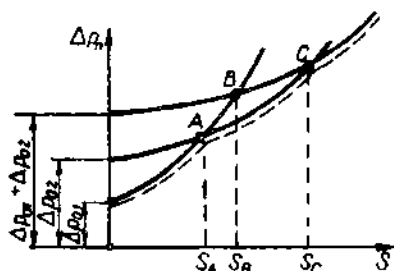


Fig. 7.14. Graficul pierderilor totale în funcție de sarcină

unde S_t este sarcina totală a celor n transformatoare.

Relația (7-16) este valabilă în ipoteza în care sarcina se repartizează proporțional cu puterile celor n transformatoare. Exemplu: fie două transformatoare 1 și 2 funcționând în paralel. Se reprezintă grafic (fig. 7.14) pierderile totale Δp_n în funcție de sarcina S_t , în care s-au notat: 1 — curba pierderilor pentru transformatorul 1; 2 — curba pierderilor pentru transformatorul 2; 3 — curba pierderilor rezultante la funcționarea în paralel a celor două transformatoare.

Se observă că la funcționarea pentru sarcini între 0 și S_A este avantajoasă funcționarea transformatorului 1 singur. Pentru sarcini, între S_A și S_B , pierderile sînt minime la funcționarea transformatorului 2, iar pentru sarcini mai mari ca S_B , pierderile sînt minime la funcționarea ambelor transformatoare în paralel. Curba desenată cu linie întreruptă reprezintă curba pierderilor minime.

Mai departe se vor studia condițiile în care este interesantă conectarea sau deconectarea unui transformator dacă postul este echipat cu n transformatoare de putere egală.

Se știe că un transformator are randamentul maxim la sarcina pentru care pierderile în cupru sînt egale cu pierderile în fier, adică:

$$\Delta p_0 + K_e \Delta q_0 = \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 (\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}) \quad (7-17)$$

sau pentru un transformator rezultă puterea optimă de funcționare:

$$S = S_n \sqrt{\frac{\Delta p_0 + K_e \Delta q_0}{\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}}}. \quad (7-18)$$

Dacă în postul de transformare sînt instalate n transformatoare de puteri egale, atunci acestea trebuie conectate astfel încît pierderile să fie minime.

Presupunînd că încărcarea crește, conectarea unui transformator suplimentar este interesantă, dacă:

$$\Delta p_{n+1} < \Delta p_n \quad (7-19)$$

sau :

$$(n+1) (\Delta p_0 + K_e \Delta q_0) + \frac{1}{(n+1)^2} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 (n+1) (\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}) < \\ < n (\Delta p_0 + K_e \Delta q_0) + \frac{1}{n^2} \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 n (\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}). \quad (7-20)$$

Rezolvînd inecuația în raport cu S , se obține condiția de conectare a unui transformator suplimentar :

$$S > S_n \sqrt{n(n+1) \frac{\Delta p_0 + K_e \Delta q_0}{\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}}}. \quad (7-21)$$

Analog se poate obține condiția de deconectare economică a unui transformator, dacă :

$$\Delta p_{n-1} < \Delta p_n. \quad (7-22)$$

Rezultă :

$$S < S_n \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta p_0 + K_e \Delta q_0}{\Delta p_{sc} + K_e \Delta q_{sc}}}. \quad (7-23)$$

Dacă puterile celor n transformatoare nu sînt egale, se folosește metoda grafică, care este simplă și expeditivă.

7.7. SUPRASARCINILE ADMISIBILE ALE TRANSFORMATOARELOR

După cum s-a văzut la subcapitolul 4.1, curbele de sarcină ale consumatorilor sînt numai rareori uniforme, sarcina în cea mai mare parte a zilei fiind sub puterea maximă absolută. Această situație de consum duce la o reducere a uzurii izolației și deci la o mărire a duratei de serviciu a transformatorului peste durata de serviciu normală, care este de 20 ani.

Ținînd seama de aceste considerente, în exploatare, transformatorul poate fi încărcat din cînd în cînd peste sarcina nominală, în așa fel încît durata de serviciu să se apropie de 20 ani.

Din punctul de vedere al posibilității de apariție în cursul funcționării a suprasarcinilor, acestea sînt de două tipuri : suprasarcini normale și suprasarcini accidentale.

7.7.1. SUPRASARCINILE NORMALE ALE TRANSFORMATOARELOR

Suprasarcinile normale ale transformatoarelor se produc datorită variației zilnice a sarcinii. Suprasarcinile normale se determină în funcție de coeficientul de sarcină ($k_{us}\%$) al puterii instalate (cap. 4, relația 4—19):

$$k_{us}\% = \frac{S_n}{S_{max}} 100 = \frac{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} S dt}{S_{max}} 100; \quad (7-24)$$

dacă $t_c=24$ h și $\int_0^{t_c} S dt = W$ (energia aparentă consumată în 24 h), atunci:

$$k_{us}\% = \frac{W}{24 S_{max}} 100. \quad (7-25)$$

Din experimentarea în timp a comportării transformatoarelor s-a dedus următorul sistem de supraîncărcare: dacă coeficientul de sarcină este sub 100%, atunci pentru fiecare 10% micșorare a acestui coeficient se admite o suprasarcină de 3%, cu condiția ca temperatura mediului de răcire să fie sub 35°C.

Rezultă factorul de suprasarcină normală datorit variațiilor de sarcină zilnice (α_z):

$$\alpha_z = 3 \frac{100 - k_{us}\%}{10}. \quad (7-26)$$

Relația (7—26) se mai numește „regula celor trei procente”.

Dacă factorul de putere este variabil în timpul considerat, atunci coeficientul de sarcină se determină cu relația:

$$k'_{us}\% = \frac{\sum I_T}{24 I_{max}} 100, \quad (7-27)$$

unde I_T este curentul mediu măsurat pe intervalul de timp T ; I_{max} — curentul maxim pe durata unei zile.

O altă suprasarcină normală rezultă din folosirea subsarcinilor din timpul verii pentru compensarea suprasarcinilor de iarnă. Vara, datorită consumului scăzut de lumină, apare o subsarcină apreciabilă, care face ca uzura izolației transformatoarelor în această perioadă să fie sub limita admisibilă. Acest considerent determină ca suprasarcina pentru iarnă să poată fi mai mare decât cea arătată. Tot pe baza unor studii experimentale se recomandă ca suprasarcina din lunile de iarnă să se ia egală cu suprasarcina din lunile de vară, însă fără a depăși 15% din puterea nominală. Atunci factorul de suprasarcină normală de iarnă, datorită subsarcinilor de vară α_v , va fi:

$$\alpha_v = \frac{S_n - S_{max}}{P} 100 < 15\%. \quad (7-28)$$

Ținând seama de cele două suprasarcini normale, transformatoarele se pot supraîncărcă cu cel mult 30% (α_{max}), dacă sînt montate în exterior sau au ventilație forțată, și 20% (α_{max}), dacă sînt montate în încăperi cu ventilație naturală, adică :

$$\alpha_z + \alpha_v < \alpha_{max} . \quad (7-29)$$

7.7.2. SUPRASARCINILE ACCIDENTALE ALE TRANSFORMATOARELOR

Deoarece prin funcționarea în regim de suprasarcină normală, experiența practică demonstrează că uzura izolației rămîne sub cea normală (80%), mai există o rezervă care poate fi folosită în cazul unei suprasarcini accidentale. De exemplu, la avarierea unui transformator montat în paralel cu alt transformator (fig. 7.15) apare necesitatea unei supraîncărcări accidentale. Dacă

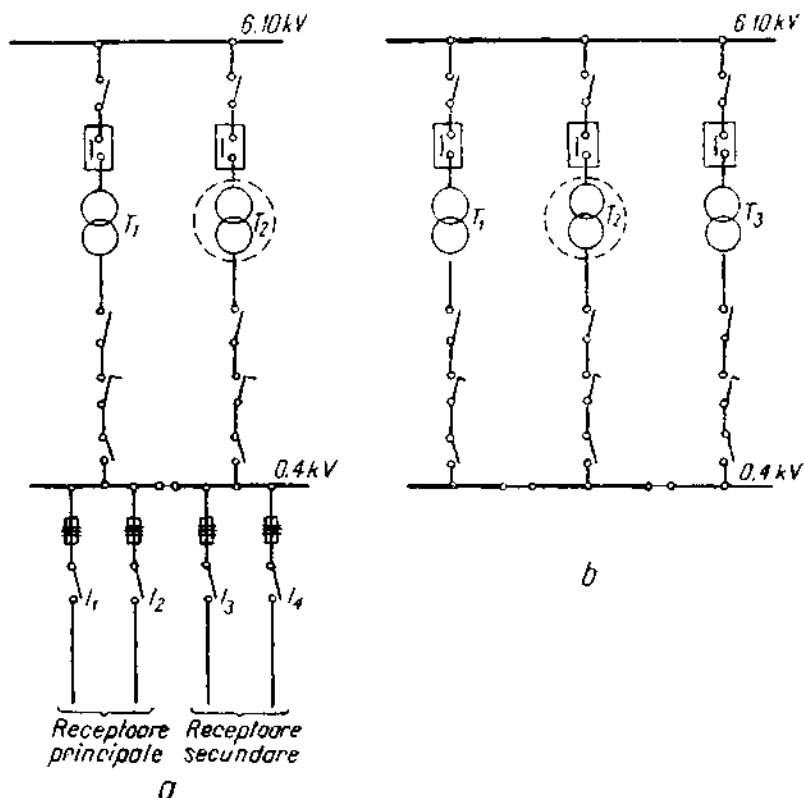


Fig. 7.15. Explicativă asupra suprasarcinilor accidentale : *a* — schema a două transformatoare în paralel : T_1, T_2 — transformatoare ; $I_1 \dots I_4$ — întrerupătoare de joasă tensiune, manuale, cu rol de separator ; *b* — schema a trei transformatoare în paralel : T_1, T_2, T_3 — transformatoare

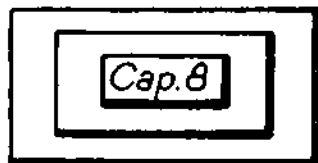
T_2 s-a defectat, pînă la efectuarea întreruperilor manuale de sacrificiu (izolarea prin intermediul întreruptoarelor I_3 și I_4 a receptoarelor secundare), transformatorul T_1 se va supraîncărca accidental.

În figura 7.15, *b* se dă o altă schemă în care T_1 și T_2 sînt transformatoare în funcțiune, iar T_3 - în rezervă rece. La defectarea lui T_2 , pînă la efectuarea manevrelor de intrare în funcțiune a lui T_3 și izolarea lui T_2 , T_1 va fi supraîncărcat accidental.

Durata admisibilă a suprasarcinilor accidentale este dată în tabelul 7.2, în funcție de valoarea suprasarcinii stabilite după o durată lungă de funcționare în sarcină normală și la o temperatură de $+35^\circ\text{C}$.

Tabelul 7.2

Încărcarea în fracțiuni din cea nominală	Durata admisibilă a suprasarcinii pentru o instalație	
	exterioară	interioară
1,3	2 h	1 h
1,6	30 min	15 min
1,75	15 min	8 min
2	7,6 min	4 min
3	1,5 min	1 min



PROTECȚIA REȚELOR ȘI INSTALAȚIILOR ELECTRICE

8.1. GENERALITĂȚI

În cursul exploatării rețelilor și instalațiilor electrice pot apărea defecte mai mult sau mai puțin grave, care conduc la întreruperea furnizării de energie electrică spre consumatori, la scoaterea din funcțiune a unor echipamente importante și costisitoare, la pericol de incendiu și explozie, la pierderi de vieți omenești etc. Cele mai frecvente și mai periculoase defecte sînt scurtcircuiturile ; în momentul apariției unui asemenea defect, pentru preîntîmpinarea urmărilor grave ale acestuia, porțiunea defectă trebuie scoasă cît mai repede din funcțiune. Scoaterea de sub tensiune a elementelor defecte este realizată de către instalațiile de protecție.

Protecția care comandă declanșarea trebuie să îndeplinească următoarele condiții principale.

— *Să fie selectivă*, adică să asigure deconectarea elementelor defecte, localizînd defectul, fără a scoate din funcțiune restul instalației.

— *Să fie rapidă*, pentru a asigura menținerea stabilității sistemului electro-energetic, pentru a reduce timpul cît consumatorii funcționează cu tensiune scăzută și pentru a micșora gradul de distrugere a elementelor defecte. De multe ori însă, așa cum se va vedea, condiția de acționare rapidă nu asigură selectivitatea sau invers, asigurarea selectivității atrage după sine deconectarea înceată a elementelor defecte.

— *Să fie sensibilă*, adică să asigure deconectarea sistemului defect la mici depășiri ale valorii reglate a parametrului supravegheat, însă să nu acționeze pentru valorile sale care intervin în mod normal în exploatare. În cazul scurt-circuiturilor, protecția sensibilă va acționa la scurtcircuituri însă nu la valorile de vîrf ale curentului care apar la pornirea utilajelor.

— *Să fie sigură în funcționare*, adică să fie întotdeauna gata de acțiune și să garanteze funcționarea sigură cu o regularitate de 100%. Pentru creșterea siguranței în funcționare, instalațiile de protecție să fie cît mai simple, adică să conțină cît mai puține elemente care ar putea să se defecteze ; pe de altă parte, adesea instalațiile electrice sînt protejate prin sisteme de protecție multiple, astfel încît la refuzul unui sistem de protecție să intre în funcțiune al doilea sistem.

— Să fie economică, adică costul instalației de protecție să fie într-un anumit raport cu costul instalației protejate și cu siguranța în funcționare care se pretinde de la aceasta.

8.2. METODE DE PROTECȚIE

8.2.1. PROTECȚIA DE CURENT

Protecția de curent se aplică instalațiilor electrice de orice fel, asigurând scoaterea de sub tensiune a acestora atunci când curentul depășește o anumită valoare stabilită dinainte. Dacă această valoare se stabilește în funcție de curentul maxim de regim al elementului protejat, sistemul se numește *protecție maximală de curent*.

Un exemplu de protecție maximală de curent îl constituie releele electromagnetice ale întreruptoarelor, care acționează atunci când curentul depășește de un anumit număr de ori curentul nominal.

Protecția maximală se realizează cu ajutorul releelor cu acționare instantanee sau cu caracteristică limitat dependentă sau independentă de curent. Necesitatea folosirii sistemelor de protecție care acționează cu întârziere rezultă din studiul unei rețele radiale reprezentate în figura 8.1. În cazul unui scurtcircuit produs în punctul K_1 , elementul de protecție P_D va scoate de sub tensiune instantaneu linia defectă; de aceea, elementele de protecție P_C , P_B , P_A , care acționează cu temporizările (întârzierile) Δt_C , Δt_B , Δt_A , nu vor avea timp să intervină, ceea ce înseamnă că porțiunea de rețea cuprinsă între barele A și D , precum și ceilalți consumatori alimentați de la barele D (cu excepția celui defect) rămân alimentați în continuare. Dacă scurtcircuitul se produce în punctul K_2 , protecția P_C va acționa cu temporizarea Δt_C , scoțind de sub tensiune porțiunea de rețea defectă în aval de barele C ; ceilalți consumatori racordați la aceste bare și toți cei din amonte sînt alimentați în continuare, pentru că elementele de protecție P_B și P_A nu au acționat încă.

Temporizarea pentru fiecare element de protecție trebuie să fie minimă, însă mai mare decît temporizarea elementului imediat următor, pentru a se asigura selectivitatea. Dacă rețeaua are un număr mare de elemente de protecție așezate în serie, temporizarea pentru elementele de la început rezultă foarte mare, ceea ce contravine condiției de rapiditate în acționare.

Pe de altă parte, se observă că siguranța în funcționare a instalației de protecție este ridicată, pentru că în cazul în care, de exemplu, protecția P_D refuză să acționeze în cazul unui scurtcircuit

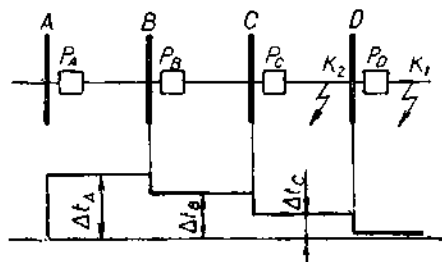


Fig. 8.1. Principiul protecției maximele de curent

în punctul K_1 , defectul va fi totuși eliminat după un timp Δt_c prin acționarea elementului de protecție P_G .

Un alt tip de protecție de curent îl reprezintă *secționarea de curent*. În acest caz, curentul de acționare nu se determină în funcție de curentul maxim de regim al elementului protejat, ci în funcție de curentul maxim de scurtcircuit la locul instalării protecției. Principiul de funcționare a secționării de curent rezultă din examinarea figurii 8.2. Intensitatea curentului de scurtcircuit este cu atât mai mare, cu cât punctul în care s-a produs scurtcircuitul este mai aproape de

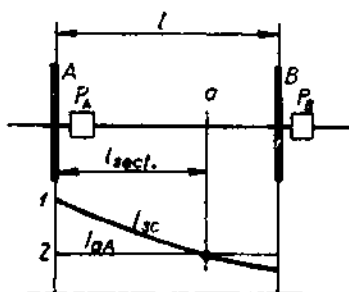


Fig. 8.2. Principiul protecției prin secționare de curent.

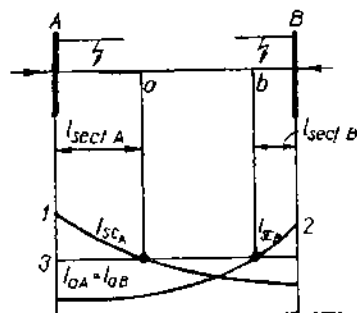


Fig. 8.3. Principiul protecției prin secționare de curent la linii alimentate la două capete

sursă (curba 1); dacă protecția P_A acționează pentru curentul I_{aA} , înseamnă că deconectarea este asigurată pentru toate scurtcircuiturile care se produc în interiorul zonei de secționare Aa ; zona aB nu este protejată (zona moartă). Temporizarea acționării protecției P_A poate fi aleasă egală cu zero sau foarte mică, pentru că selectivitatea este asigurată prin faptul că P_A nu acționează la scurtcircuiturile care se produc în aval de punctul a , deci nici în zona protejată de P_B .

Se vede că existența zonei moarte este necesară, pe de altă parte însă ea trebuie să fie cât mai redusă. În realitate lungimea zonei moarte nu este constantă, pentru că la producerea unui scurtcircuit într-un anumit punct al rețelei intensitatea curentului poate fi diferită, în funcție de rezistența de contact formată la locul scurtcircuitului.

Secționările de curent cu acțiune instantanee pot fi aplicate și la liniile alimentate la ambele capete (fig. 8.3); curbele 1 și 2 reprezintă variația intensităților de scurtcircuit la barele A, respectiv B, cu poziția punctului de producere a scurtcircuitului. Intersecțiile acestor curbe cu curba 3 a curentului de acționare a protecțiilor determină lungimile zonelor protejate și a zonei moarte; în zona Aa acționează numai secționarea din stația A, în zona bB numai secționarea din stația B, în zona ab nu acționează nici una dintre protecții. În cazuri particulare zona moartă poate să nu existe.

8.2.2. PROTECȚIA DE CURENȚ DIRECȚIONALĂ

Protecția de curent maximală, așa cum a fost înfățișată în subcapitolul 8.1 nu poate fi aplicată rețelelor buclate sau liniilor alimentate la două capete. Astfel (fig. 8.4), în cazul unui scurtcircuit în punctul K_1 , pentru a se asigura selectivitatea trebuie ca temporizarea elementului de protecție 4 să fie mai mică decât a elementului 5— $\Delta t_4 < \Delta t_5$; în schimb, în cazul scurtcircuitului în punctul K_2 este necesar ca $\Delta t_4 > \Delta t_5$; se vede că îndeplinirea simultană a ambelor condiții este imposibilă.

Problema se rezolvă folosind protecția de curent direcțională, care acționează în momentul depășirii valorii curentului de acționare numai dacă sensul de transmitere a puterii este spre locul de scurtcircuit. Rezultă că protecția direcțională de curent este o protecție de curent completată cu un element sensibil la unghiul de defazaj dintre curent și tensiune. Acest element se realizează cu ajutorul unor rele wattmetrice, construite pe principiul mecanismelor electrodinamice sau cu inducție. În funcție de sensul puterii, echipajul mobil al releului se rotește într-un sens sau altul; releul își închide contactele numai pentru un anumit sens de rotație, permițând funcționarea protecției maxime numai pentru un anumit sens de circulație a puterii.

Figura 8.5 prezintă principiul de funcționare a protecției de curent direcționale într-o rețea alimentată la ambele capete. Săgețile trasate alături de elementele de protecție 1, 2...6 indică sensul de circulație a puterii pentru care elementele respective acționează. Se vede că săgețile sînt dirijate de la bare spre linii; de aceea, toate grupurile de protecție cu elemente direcționale de putere se împart în două grupe: 2, 4, 6 și 5, 3, 1. Grupurile de protecție „cu soț” acționează numai în cazul scurtcircuitelor care se produc în stînga locului unde sînt instalate; grupurile „fără soț” vor acționa numai la scurtcircuiturile care se produc în dreapta lor. Grupurile „cu soț” nu vor acționa la scurtcircuiturile produse în dreapta, iar cele „fără soț” nu acționează la scurtcircuiturile produse în stînga lor. De aceea, pentru fiecare grup de protecție se pot alege temporizările în trepte independent de celălalt grup, ca și într-o rețea radială cu alimentare de la un singur capăt. Astfel, pentru grupurile 2, 4, 6 sursa de alimentare o reprezintă barele D, pentru grupurile 5, 3, 1—barele A. În figura 8.5 se indică modul de alegere a temporizărilor în trepte contrare pentru cele două grupuri de elemente de protecție.

Din cele de mai sus rezultă că protecția de curent direcțională posedă aceleași caracteristici ca și protecția de curent maximală, analizată anterior.

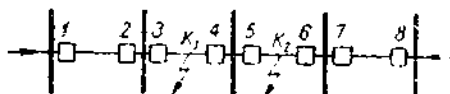


Fig. 8.4. Rețea radială alimentată la două capete

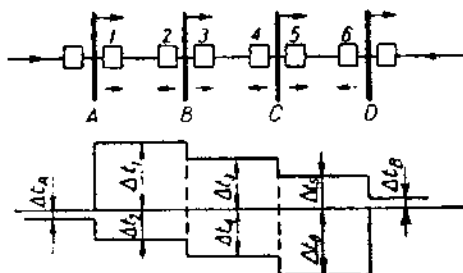


Fig. 8.5. Rețea radială alimentată la două capete, prevăzută cu protecție maximală de curent direcțională

8.2.3. PROTECȚIA DE DISTANȚĂ

Protecția de distanță asigură o temporizare a acționării cu atât mai mare cu cât este mai departe punctul de producere a defectului de locul instalării protecției. De aceea, scurtcircuiturile vor fi înlăturate întotdeauna de către elementele aflate mai aproape de locul producerii acestora, ceea ce asigură selectivitatea protecției; totodată se micșorează duratele de acționare, ceea ce constituie un avantaj al protecției de distanță față de protecțiile de curent.

În cazul liniei prevăzute cu elementele de protecție de distanță 1, 2... 6, pentru un scurtcircuit în punctul K vor acționa elementele cele mai apropiate 3 și 4 (fig. 8.6). Grupurile de protecție 1 și 6 intră de asemenea în funcțiune însă, fiind mai îndepărtate de locul scurtcircuitului, ele vor acționa ca rezervă numai dacă protecția proprie a sectorului BC nu acționează corect.

Pentru prevenirea acționării grupurilor de protecție 2 și 5, aflate la aceleași distanțe de locul scurtcircuitului ca și grupurile 3 și 4, protecția de distanță se realizează cu elemente direcționale, grupurile acționând numai dacă sensul de circulație a puterii este de la bare spre linii.

Releele folosite pentru realizarea protecției de distanță sînt de tipul releelor diferențiale; cele două bobine ale releului sînt alimentate cu o tensiune proporțională cu tensiunea la locul de instalare a releului, respectiv cu un curent proporțional cu curentul prin linie; cele două cupluri antagoniste sînt $M_U = k_U U^2$, $M_I = k_I I^2$. Echipajul mobil se va roti și va închide contactele atunci cînd $M_I \geq M_U$, adică $U^2/I^2 \leq k_I/k_U = k^*$. Însă raportul U/I reprezintă impedanța liniei de la locul de instalare a releului la punctul de scurtcircuit, impedanță

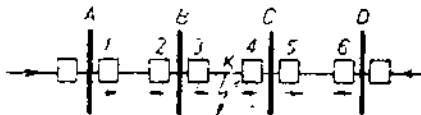


Fig. 8.6. Rețea radială alimentată la două capete, prevăzută cu protecție de distanță

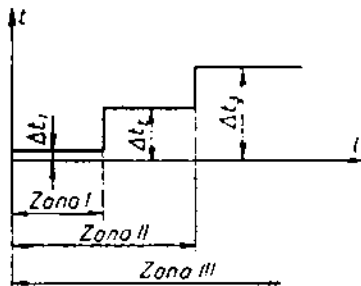


Fig. 8.7. Caracteristica de temporizare în trepte a protecției de distanță

proporțională cu distanța; rezultă că releul își va închide contactele dacă $z \leq \sqrt{k}$ sau $l \leq \sqrt{k}/z_1 = l_0$, unde z_1 este impedanța pe unitatea de lungime a liniei. Dat fiind că releele diferențiale amintite acționează la modificările impedanței ele se numesc rele de impedanță; se vede că protecția intră în acțiune dacă distanța pînă la locul de scurtcircuit scade sub o anumită valoare l_0 .

* În relațiile date, k_U , k_I și k sînt constante ce depind de construcția releului.

Un grup de protecție de distanță conține câteva relee de impedanță reglate pentru diferite distanțe l_0 ; temporizarea reglată este cu atât mai mare cu cât distanța l_0 corespunzătoare este mai mare. În acest fel se obține diagrama temporizărilor ca în figura 8.7.

Reglarea distanțelor l_0 se face conform celor indicate în figura 8.8. În scopul asigurării unei deconectări rapide este de dorit ca întreaga lungime a sectorului protejat să fie cuprinsă de către prima zonă rapidă; în acest caz însă selectivitatea pentru defectele care apar în regiunea de început a celui de-al doilea sector nu mai este asigurată. De aceea lungimea zonei I se stabilește la 80—85% din lungimea sectorului protejat. Analog se procedează cu lungimile treptelor a doua și a treia.

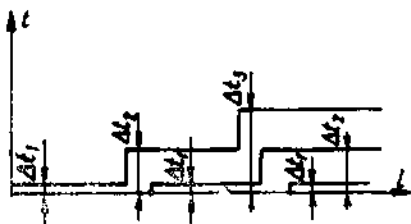


Fig. 8.8. Stabilirea caracteristicilor de temporizare în trepte

8.2.4. PROTECȚIA DIFERENȚIALĂ

În cadrul protecției diferențiale se compară între ei curenții de la începutul și de la sfârșitul elementului protejat; în cazul în care cei doi curenți nu sînt egali, ceea ce se întîmplă atunci cînd o parte din curentul de la începutul elementului se ramifică, de exemplu, prin locul scurtcircuitului, diferența celor doi curenți declanșează întreruptorul sectorului defect.

Figura 8.9 prezintă principiul protecției diferențiale. Cele două transformatoare de curent $T1$ și $T2$ sînt identice; dacă linia nu este defectă, curenții primari și deci și curenții secundari I_1 și I_2 prin aceste transformatoare sînt egali, așa încît $I_r = 0$. În momentul apariției unui scurtcircuit într-un punct K , $I_1 \neq I_2$ și deci prin releul de curent RI trece un curent $I_r = I_1 - I_2$, care acționează instantaneu declanșarea întreruptorului prin care se alimentează linia. Rezultă că protecția acționează numai în cazul unui defect în zona limitată de transformatoarele de curent.

Conform principiului de funcționare, sistemul expus se numește protecție diferențială longitudinală. Avantajele ei față de celelalte tipuri de protecție analizate constă în faptul că, pentru asigurarea selectivității, ea nu necesită coordonarea temporizării cu elementele vecine rețelei; de aceea, ea se execută cu acțiune rapidă, fără temporizare. Schema este relativ simplă și de aceea, în principiu, suficient de sigură. Inconveniențele protecției diferențiale sînt determinate de costul relativ ridicat al conductoarelor auxiliare și de faptul că defectarea acestora scoate protecția din funcțiune pe termen lung sau determină funcționarea greșită a protecției.

În cazul liniilor în paralel se poate folosi protecția diferențială transversală, al cărei principiu este ilustrat în figura 8.10. Atît timp cît curenții conduși de cele două linii sînt egali, curenții secundari I_1 și I_2 ai celor două transformatoare $T1$ și $T2$ sînt egali și curentul care trece prin releul de curent RI , $I_r = 0$; în momentul în care pe una din linii apare un scurtcircuit, curenții I_1 și I_2

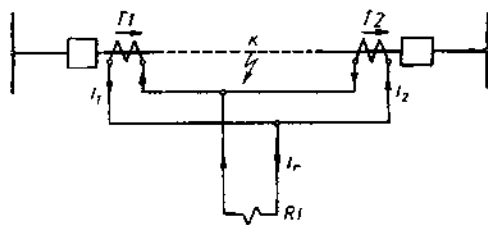


Fig. 8.9. Principiul protecției diferențiale longitudinale

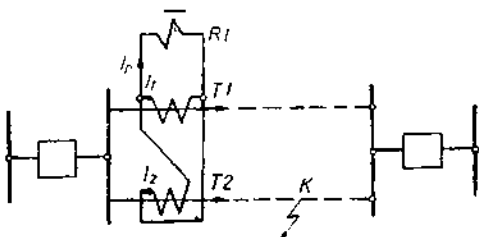


Fig. 8.10. Principiul protecției diferențiale transversale

încetează să mai fie egali, curentul $I_r = I_1 - I_2 \neq 0$ și releul de curent RI provoacă declanșarea instantanee a întreruptorului peste care sînt alimentate cele două linii.

Deși sub aspectul investițiilor protecția diferențială transversală este avantajoasă, ea nu permite decelarea unor defecțe aflate în zona dinspre capătul opus celui în care este instalată protecția. De asemenea, în cazul liniilor paralele cu întreruptoare separate, ea nu distinge pe care linie s-a produs scurtcircuitul. Din aceste motive, protecția diferențială transversală se utilizează astăzi rar. Metoda de protecție descrisă poate fi însă îmbunătățită prin instalarea unor elemente direcționale.

8.3. PROTECȚIA ECHIPAMENTELOR DIN INSTALAȚIILE ELECTRICE

În prezent protecția se extinde asupra liniilor, a rețelilor electrice, precum și asupra unor mașini și aparate care fac parte din sistemul electroenergetic. Necesitatea instalării protecției la asemenea echipamente rezultă din considerente privind siguranța în funcționare a sistemului și evitarea distrugerilor ca urmare a defectelor sau regimurilor anormale de funcționare.

Mai jos se descriu principiile unor sisteme de protecție aplicate transformatoarelor și motoarelor asincrone și sincrone. Pentru alte echipamente (generatoare și compensatoare sincrone, mașini de curent continuu, barele stațiilor etc.), precum și pentru adîncirea cunoștințelor prezentate aici se va consulta bibliografia de specialitate de (exemplu /31/).

8.3.1. PROTECȚIA TRANSFORMATOARELOR

În transformatoare se pot ivi diferite feluri de defecte sau regimuri de funcționare anormale, care pot conduce la distrugerea acestora. În scopul eliminării sau al micșorării urmărilor acestor defecte, transformatoarele sînt prevăzute cu diferite tipuri de instalații de protecție.

Defecțele contra cărora se iau măsuri de protecție la transformatoare sînt scurtcircuiturile între faze sau între faze și pămînt, sau scurtcircuiturile între spirele

aceleiași faze. Pe de altă parte, pot apare regimuri anormale de funcționare a transformatoarelor determinate de scurtcircuite în liniile sau rețelele conectate la acestea, supraîncălzirea transformatoarelor sau scăderea nivelului uleiului din cuvă sub limita admisibilă. Apariția unor asemenea regimuri trebuie semnalată și uneori transformatorul trebuie scos de sub tensiune.

În prezent, pentru semnalizare și declanșare în cazul apariției defectelor sau regimurilor anormale arătate mai sus, se folosesc în cazul transformatoarelor instalații de protecție de tipurile arătate mai jos.

8.3.1.1. Protecția de gaze. Acest sistem de protecție se aplică transformatoarelor cu răcire în ulei. Principiul ei se bazează pe apariția unui volum de gaze ca urmare a defectelor interioare transformatorului, însoțite de o supraîncălzire exagerată a înfășurărilor sau de apariția unui arc electric. Gazele rezultă prin descompunerea uleiului și a altor substanțe izolante supuse la temperaturi ridicate. Protecția de gaze se realizează cu ajutorul unui releu de gaze instalat pe conducta ce unește cuva transformatorului cu conservatorul de ulei (fig. 8.11). Releul de gaze este realizat dintr-un rezervor în care se găsesc două plutitoare; în funcționare normală rezervorul este plin cu ulei și plutitoarele se găsesc în poziția superioară (fig. 8.12). În cazul apariției unui defect neînsemnat, cantita-

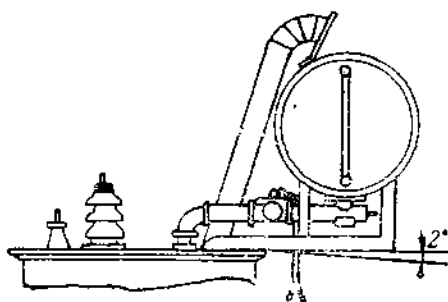


Fig. 8.11. Instalarea releului de gaze pe transformator

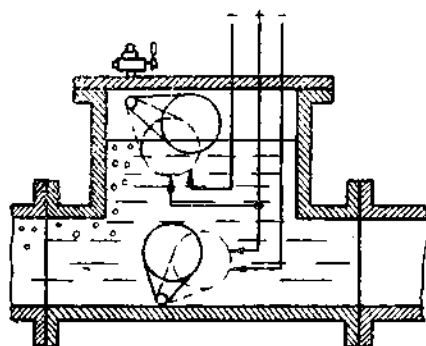


Fig. 8.12. Schița releului de gaze

tea de gaze formată este redusă, ea se acumulează în rezervor și determină coborîrea plutitorului superior, care acționează astfel un dispozitiv de semnalizare. Dacă însă defectul este grav, curentul de gaze prin releu determină coborîrea plutitorului inferior, care închide circuitul de declanșare.

În cazul scăderii nivelului de ulei, rezervorul uleiului se golește treptat, determinînd întâi semnalizarea prin plutitorul superior și apoi deconectarea transformatorului.

8.3.1.2. Protecția prin secționarea de curent. Pentru realizarea protecției cu acțiune rapidă a transformatoarelor împotriva scurtcircuitelor produse în afara cuvei se poate utiliza secționarea de curent pe partea alimentării, așa cum se vede în figura 8.13.

Curentul de acționare a protecției se alege mai mare decât curentul de scurtcircuit care apare în punctul K_1 ; de aceea, secționarea de curent acționează numai la scurtcircuiturile produse între punctul de instalare a acesteia și transformator (punctul K_2) și pe o parte a spirelor transformatorului. În cazul unui scurtcircuit produs în zona protejată, transformatorul de intensitate TI determină închiderea contactelor releului de curent I , care pune sub tensiune releul

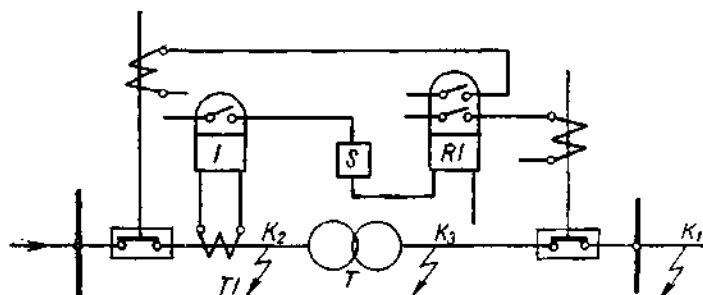


Fig. 8.13. Schema de principiu a protecției prin secționare de curent a unui transformator

de semnalizare S și releul intermediar RI ; acesta din urmă comandă deschiderea întreruptoarelor de la ambele capete ale transformatorului T , scoțându-l de sub tensiune.

Inconvenientul principal al secționării de curent în cazul descris constă în faptul că ea nu protejează transformatorul împotriva defectelor de la bornele

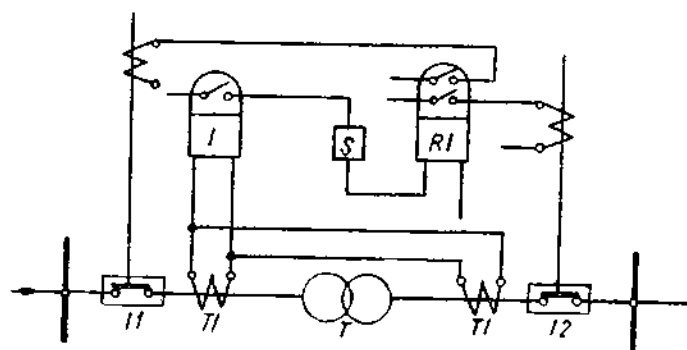


Fig. 8.14. Schema de principiu a protecției diferențiale a transformatoarelor.

secundare ale acestuia și a celor pe conductoarele de legătură pînă la întrerupătorul de pe partea secundară (punctul K_3).

8.3.1.3. Protecția diferențială. Schema de principiu a protecției diferențiale longitudinale pentru un transformator este prezentată în figura 8.14. Ca și în cazul general (v. par. 8.2.4), în cazul inegalității curenților secundari ai trans-

formatoarelor de intensitate TI , datorită unui scurtcircuit în zona cuprinsă între cele două transformatoare, diferența curenților se închide prin bobina releului de curent I . Aceasta comandă acționarea releului de semnalizare S și deschiderea celor două întreruptoare $I1$ și $I2$ cu ajutorul releului intermediar RI .

În practică, protecția diferențială se aplică cu unele greutăți determinate de inegalitatea curenților primar și secundar raportat la primarul transformatorului T , din cauza curentului de magnetizare.

8.3.1.4. Protecția de curent. Protecția de curent, executată sub forma de protecție maximală, protejează transformatorul împotriva scurtcircuitelor exterioare. Protecția se instalează pe partea de alimentare a transformatorului (fig. 8.15), pentru a funcționa și ca protecție de rezervă contra scurtcircuitelor interioare. La depășirea curentului de acționare reglat, releul I își închide instantaneu contactele, punând sub tensiune releul de timp T ; acesta își închide

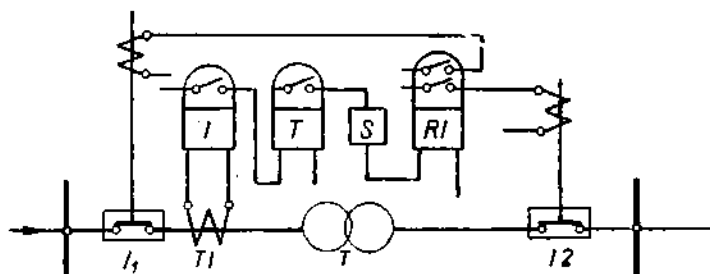


Fig. 8.15. Schema de principiu a protecției maxime a unui transformator

contactele cu o întârziere reglată, comandând astfel acționarea releului de semnalizare S și a celor două întreruptoare $I1$ și $I2$ peste releul intermediar RI . Temporizarea releului T se alege conform paragrafului 8.2.1 pentru a se asigura selectivitatea în rețea.

8.3.1.5. Protecția contra curenților de suprasarcină. În cazul suprasarcinilor mari, transformatorul nu este în general deconectat automat; regimul de suprasarcină se semnalizează automat, atrăgându-se atenția personalului de deservire asupra necesității de a lua măsuri în vederea eliminării acestui regim. Semnalizarea se realizează după o schemă asemănătoare celei din figura 8.15, temporizarea fiind aleasă mai mare decât cea reglată pentru protecția împotriva scurtcircuitelor, pentru a preîntîmpina semnalizările false. În tot acest timp transformatorul poate funcționa fără pericol, utilizându-se capacitatea sa de supraîncărcare.

8.3.2. PROTECȚIA MOTOARELOR ASINCRONE ȘI SINCRONE

Defectele care pot avea loc în motoare sînt scurtcircuitele monofazate și polifazate în înfășurarea statorică. Cel mai frecvent regim anormal este funcționarea cu supracurenți. În cazul motoarelor asincrone, aceasta este determinată

de supraîncărcarea lor de către mecanismele acționate sau de alimentarea cu tensiune scăzută; supracurenții din motoarele sincrone rezultă ca urmare a supraîncărcărilor sau a ieșirii din sincronism.

În cazul defectării prin scurtcircuit, protecția comandă deconectarea de la rețea a motoarelor; pentru motoarele sincrone, simultan cu deconectarea, trebuie comutate rezistențele de stingere în poziția de pornire.

În cazul regimului anormal de funcționare a motoarelor, funcție de gravitatea acestuia, se comandă semnalizarea sau deconectarea de la rețea.

8.3.2.1. Protecția contra scurtcircuitelor. Pentru protecția motoarelor împotriva scurtcircuitelor se folosesc siguranțe fuzibile, protecții de curent și protecții diferențiale. Acestea din urmă se utilizează numai la motoare de mare putere (peste 2 000 kW).

Protecția prin siguranțe fuzibile și cea maximală de curent au fost studiate în subcapitolele 3.7, 3.8, 5.4, 7.4.

8.3.2.2. Protecția contra curenților de suprasarcină. Protecția contra suprasarcinilor de durată se realizează cu ajutorul releelor termice (v. subcap. 3.9) sau al releelor de curent. În schemele cu rele de curent se introduc, fie rele cu caracteristică limitat dependentă, fie rele de curent fără temporizare și rele de timp. Dacă supracurentul durează un timp mai mic decât cel reglat, releele revin în poziția inițială înainte de acționarea protecției.

8.3.2.3. Protecția minimală de tensiune. După cum s-a mai arătat, întreruptoarele și contactoarele sînt prevăzute cu o protecție care scoate motorul din funcțiune dacă tensiunea rețelei a scăzut sub o anumită valoare. Necesitatea acestui tip de protecție rezultă din următoarele.

— *Condiții de tehnica securității și impuse de procesul tehnologic.* Dacă motorul s-a oprit din cauza dispariției tensiunii rețelei, pornirea lui la revenirea ulterioară a tensiunii ar putea provoca accidente sau deranjarea procesului tehnologic.

— *Condiții de autopornire a motoarelor.* La scăderea sau dispariția tensiunii, de exemplu ca urmare a unui scurtcircuit, turația motoarelor asincrone scade, iar motoarele sincrone pot ieși din sincronism. Cînd tensiunea se restabilește, motoarele încep să absoarbă curenți mari care depășesc de cîteva ori curenții nominali. Ca urmare, pierderile de tensiune pe rețea devin foarte mari, ceea ce îngreuiază sau face cu totul imposibilă atingerea turației nominale de către motoare. Deconectarea unei părți din motoare, în general a celor de importanță mai mică, atunci cînd apare o cădere de tensiune în rețea ca urmare a unui scurtcircuit, asigură producerea unor pierderi de tensiune mai mici și permite astfel autopornirea motoarelor mai importante. În asemenea cazuri, deconectarea se comandă cu o întârziere mică (de circa 0,5 s), care previne deconectarea motoarelor în cazul scurtcircuitelor din rețea, care sînt lichidate prin protecțiile cu acționare rapidă.

— *Prevenirea supraîncălzirii motoarelor asincrone.* Dacă motorul asincron cu rotor bobinat acționează un mecanism cu cuplu rezistent constant (independent de turație), la scăderea tensiunii are loc frînarea rapidă a lui; este posibil ca în

momentul reapariției tensiunii turația să fi scăzut pînă la o valoare căreia îi corespunde o alunecare $s > s_c$, s_c fiind alunecarea care corespunde egalității dintre cuplul activ M și cuplul rezistent M_r în zona labilă a caracteristicii mecanice a motorului (fig. 8.16). În acest caz, cuplul rezultat este decelerator și motorul se oprește, absorbind curentul de pornire mare. Protecția de tensiune minimă trebuie să deconecteze de la rețea motoarele dacă tensiunea a scăzut sub o anumită limită, cu o temporizare care ține seama de timpul necesar creșterii alunecării la valoarea s_c .

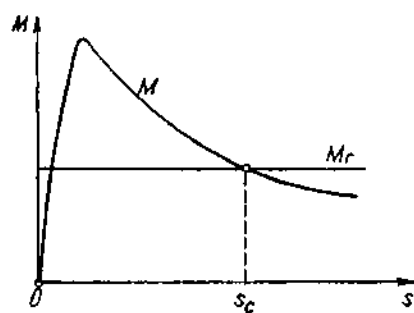
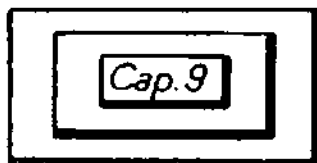


Fig. 8.16. Caracteristica mecanică a motorului asincron cu rotor bobinat și a mecanismului antrenat cu cuplu constant



REZERVE LOCALE DE ENERGIE ȘI SURSE DE CURENT OPERATIV

9.1. GENERALITĂȚI

S-a arătat în capitolul 5 că, în cadrul anumitor obiective industriale sau social-culturale, întreruperea alimentării cu energie electrică poate conduce la pagube materiale importante și la pierderi de vieți omenești. Dacă receptoarele de categoria I sînt de puteri mari, continuitatea alimentării lor se realizează de la rețea printr-un racord suplimentar, așa cum s-a arătat în capitolul 5. Dacă însă receptoarele respective au puteri relativ mici, în cazul producerii unui deranjament în rețeaua de alimentare, acestea pot fi alimentate de la *surse de energie electrică locale de rezervă*.

În cadrul anumitor consumatori, mai cu seamă industriali, instalațiile electrice de automatizare, măsură, control, semnalizare, protecție și acționare au o pondere importantă în ansamblul instalației. Alimentarea acestor instalații se face de la *surse de curent operativ*. Trebuie arătat că majoritatea instalațiilor amintite sînt de categoria I; într-o centrală sau o stație electrică, de exemplu, eliminarea deranjamentelor se poate realiza numai dacă instalațiile de acționare a unor întreruptoare, instalațiile de semnalizare, aparatul de comandă etc. sînt alimentate și pe durata avariei suferite.

9.1.1. CLASIFICAREA RECEPTOARELOR DE ENERGIE

Instalațiile electrice care urmează să fie alimentate de la sursele de rezervă sau de curent operativ sînt împărțite în patru categorii.

a. Instalații și agregate de intervenție în caz de avarie a rețelei. Din această categorie fac parte *iluminatul de siguranță și agregatele de intervenție* (de exemplu motoarele pompelor de ulei din sistemul de ungere de avarie a turbinelor cu aburi, grupurile motor-generator care mențin în funcțiune vanele conductelor de apă sau aburi în centralele electrice etc.). Această categorie de receptoare este foarte sensibilă la variațiile tensiunii de alimentare, funcționînd satisfăcător numai dacă abaterile sînt sub $\pm 5\%$.

b. Circuite ale lămpilor de semnalizare și control. Aceste lămpi, instalate pe tablouri, semnalizează poziția întreruptoarelor din instalațiile energetice, starea de funcționare a agregatelor tehnologice etc. În aceste circuite se admit scăderi

de tensiune de 20—25% față de valoarea nominală; creșterea tensiunii peste valoarea nominală nu poate fi admisă decât pentru timp scurt, pentru a nu reduce apreciabil durata de utilizare a lămpilor.

c. Circuite ale aparatelor de comandă și protecție. Aceste circuite alimentează aparate conectate permanent (relee de protecție și de automatizare, aparate care indică poziția separatoarelor etc.) sau aparate cu funcționare intermitentă (relee de comandă și protecție, bobine de declanșare a întreruptoarelor, contactoare intermediare pentru comanda întreruptoarelor etc.). Variația de tensiune admisă este cuprinsă între $\pm 10\%$.

d. Circuite ale mecanismelor de conectare a acționărilor electrice directe, în special a întreruptoarelor principale. Aceste circuite admit variații de tensiune între $+10$ și -20% față de tensiunea nominală.

Receptoarele pot fi clasificate după gradul de continuitate a consumului de energie după cum urmează.

— Receptoare care constituie *sarcină de durată în cursul funcționării normale*. Aceste receptoare sînt alimentate la funcționarea normală din rețea, iar la avarie de la sursa de rezervă (de exemplu, iluminatul de siguranță), sau de la sursa de curent operativ/sursa de rezervă (lămpi de semnalizare, circuite de protecție etc.).

— Receptoare care constituie *sarcină intermitentă în cursul funcționării normale și de avarie*. Ele sînt alimentate de la sursa de curent operativ/sursa de rezervă (de exemplu, circuitele de acționare a întreruptoarelor, releele de comandă și protecție etc.).

— Receptoare care constituie *sarcină de durată în cursul avariei*. Un exemplu îl constituie motopompele pentru rezerva de avarie a turbinelor cu aburi.

O altă clasificare a receptoarelor se poate face în :

— receptoare care funcționează la fel de bine în curent continuu sau în alternativ (de exemplu — lămpile cu incandescență);

— receptoare care funcționează numai în curent continuu;

— receptoare care funcționează numai în curent alternativ (de exemplu — lămpile fluorescente).

9.1.2. CLASIFICAREA SURSELOR DE ENERGIE

Sursele de rezervă și de curent operativ se pot clasifica în surse de curent continuu și surse de curent alternativ.

Sursele se împart, sub aspectul modului de alimentare, în surse cu energie înmagazinată și surse alimentate de la rețeaua electrică.

Sursele cu energie înmagazinată servesc drept surse de rezervă și de curent operativ. În prezent, se folosesc drept surse cu energie înmagazinată bateriile de acumulare și grupurile motor cu combustie internă-generator.

Sursele alimentate de la rețea servesc drept surse de curent operativ. Din această categorie fac parte transformatoarele, grupurile motor electric-generator și stațiile de redresoare.

9.2. BATERII DE ACUMULATOARE

9.2.1. GENERALITĂȚI

Bateriile de acumulateoare sînt instalațiile cele mai răspîndite de înmagazinare a energiei electrice. În prezent, răspîndirea cea mai mare o au acumulateoarele cu plumb; în ultimul timp au început să fie aplicate pe scară tot mai largă și acumulateoarele alcaline.

În cursul exploatării, acumulateoarele pot funcționa în gol, în regim de descărcare sau în regim de încărcare.

Funcționarea în gol se caracterizează prin faptul că acumulatorul este străbătut de un curent de intensitate nulă; tensiunea la bornele elementului, în gol, este de 2,03—2,05 V la acumulateoarele cu plumb*.

În cursul regimului de descărcare acumulatorul debitează energie electrică pe seama energiei chimice înmagazinate. Descărcarea acumulatorului se produce în timp; cu cît intensitatea curentului debitat este mai mare, cu atît durata descărcării acumulatorului este mai scurtă. Acumulateoarele sînt caracterizate prin capacitatea lor, adică prin cantitatea de electricitate pe care ele sînt capabile să o debiteze în anumite condiții de descărcare. Capacitatea, care se măsoară în amperioare [Ah], se modifică odată cu condițiile descărcării: cu cît durata descărcării este mai mare (curentul mai mic), cu atît crește capacitatea acumulatorului.

Tensiunea la bornele acumulatorului în cursul descărcării U_d este mai mică decît cea în gol E , datorită t.e.m. de polarizare E' și căderii ohmice RI :

$$U_d = E - E' - RI; \quad (9-1)$$

la finele descărcării tensiunea pe element scade la 1,75 V în cazul regimurilor de descărcare de 1 sau 2 h, respectiv la 1,8 V în cazul regimului de descărcare de 3—10 h, pentru acumulateoarele cu plumb**.

La încărcare, tensiunea la borne pe element se calculează cu relația:

$$U_i = E + E' + RI; \quad (9-2)$$

la sfîrșitul încărcării tensiunea pe element are valoarea de 2,5—2,75 V la acumulateoarele cu plumb***.

* Pentru acumulateoarele alcaline tensiunea în gol variază între 1,35 și 1,50 V.

** Pentru acumulateoarele alcaline, tensiunea finală în regim de descărcare de 8 h va atinge 1,1 V.

*** La acumulateoarele alcaline, în cursul încărcării tensiunea crește treptat de la 1,55 V la 1,82 V.

9.2.2. REGIMURI DE UTILIZARE A BATERIILOR DE ACUMULATOARE

9.2.2.1. **Regimul de încărcare-descărcare** este metoda de utilizare cea mai veche a bateriilor de acumuloare. Conform acestei metode ciclul de funcționare a bateriei se compune din descărcarea prin receptoare, urmată de o încărcare a bateriei. Schema unei instalații de acumuloare care funcționează în regim de încărcare-descărcare este prezentată în figura 9.1.

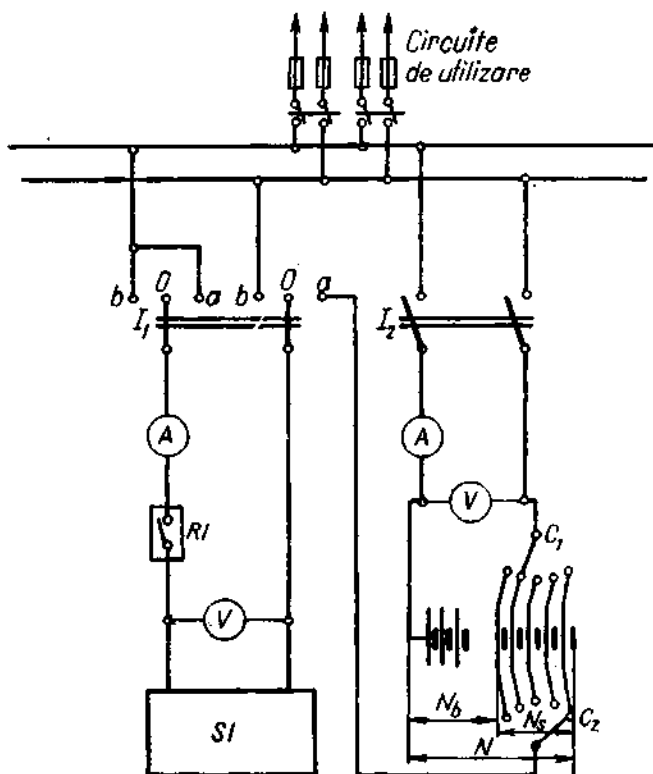


Fig. 9.1. Schema instalației de acumuloare funcționând în regim de încărcare-descărcare : SI — sursă de încărcare ; RI — releu de curent invers ; C₁, C₂ — comutatoare

Bateria de acumuloare este conectată la barele care alimentează circuitele de utilizare. Tensiunea pe element la finele încărcării fiind mare ($U_{11}=2,5-2,75$ V) la acumuloarele cu plumb, pentru a se obține tensiunea la borne U este necesar un număr minim de *elemente de bază* în serie :

$$N_b = \frac{U}{U_{11}}^* ; \quad (9-3)$$

* Pentru acumuloarele alcaline $U_{11}=1,8$ V.

pe măsura descărcării, tensiunea elementelor scade, de aceea pentru a menține constantă tensiunea la bare U este necesar să se introducă alte elemente în serie. Operația se realizează cu ajutorul comutatorului C_1 . La finele descărcării, când tensiunea elementului este minimă ($U_{a1} \approx 1,75-1,80$ V), bateria conține în serie numărul total de elemente:

$$N = \frac{U}{U_{a1}} * \quad (9-4)$$

Numărul de *elemente suplimentare* care se introduc cu ajutorul comutatorului C_1 este:

$$N_s = N - N_b. \quad (9-5)$$

Descărcarea, care durează un anumit interval de timp (pînă la cîteva zile), se produce pînă la epuizarea a 60—70% din capacitatea bateriei. În acest timp, bateria alimentează o sarcină constantă (lămpi, aparate de semnalizare, relee etc.), dar preia și sarcini de scurtă durată (bobinele mecanismelor intermediare sau directe de comutație), precum și sarcini de avarie (iluminat de siguranță, agregate de intervenție).

La finele descărcării se procedează la trecerea în regim de încărcare. În acest scop, se pornește agregatul de încărcare SI și, după egalizarea tensiunii indicate de cele două voltmetre V , comutatorul se trece de pe poziția de repaus 0 la poziția de încărcare a . Comutatorul C_2 este potrivit în poziția extremă, care cuprinde toate elementele bateriei. Pe măsură ce bateria se încarcă, poziția comutatorului C_1 trebuie modificată pentru a se menține tensiunea U constantă; se observă că elementele suplimentare N_s , care de altfel sînt mai puțin descărcate decît elementele de bază N_b , sînt parcurse de un curent de intensitate mai mare decît acestea din urmă (elementele de bază sînt parcurse de diferența între curentul de încărcare și curentul de descărcare, cît timp cele suplimentare sînt parcurse de curentul de încărcare în întregime). De aceea, încărcarea elementelor suplimentare se produce într-un timp mai scurt, ceea ce face necesară scoaterea lor treptată din circuitul de încărcare prin manevrarea potrivită a comutatorului C_2 . Cînd toate elementele bateriei sînt încărcate, regimul de încărcare ia sfîrșit și se trece pe regimul de descărcare.

Agregatul de încărcare este prevăzut cu *releul de curent invers* RI , care împiedică descărcarea bateriei prin agregat.

În cursul reparațiilor care trebuie efectuate asupra bateriei, aceasta se deconectează de la bare prin întreruptorul I_2 . În acest interval de timp consumatorii sînt alimentați de la sursa de încărcare SI , care este conectată la bare prin comutatorul I , în poziția a . Această situație trebuie pe cît posibil evitată, căci în cazul deconectării bateriei obiectivul este lipsit de sursa independentă de energie; de asemenea, de obicei, agregatul de încărcare nu are putere suficientă pentru acționarea unor receptoare puternice. Din aceste motive, în instalațiile importante se prevăd scheme cu două baterii, astfel încît, cînd una

* Pentru acumulatoare alcaline $U_{a1} = 1V$.

dintre baterii se găsește în regim de descărcare, cealaltă este în regim de încărcare.

Pentru a nu scurtcircuita acumuloarele, respectiv pentru a nu întrerupe alimentarea barelor în timpul manevrării comutatoarelor C_1 și C_2 , acestea au o construcție specială (fig. 9.2). Legătura spre exterior se realizează prin două perii P_1 și P_2 . Pentru trecerea de pelamela L_1 pelamela L_2 , se trece întâi peria P_1 pe lamela L_2 ; în acest timp elementul E nu este scurtcircuitat, căci rezistența R limitează curentul. Operația se încheie trecând și peria P_2 de pe lamela L_1 pe lamela L_2 .

Cele două comutatoare C_1 și C_2 sînt reunite constructiv într-unul singur, care are un singur rînd de lamele comune și două rînduri de perii.

Utilizarea bateriilor de acumuloare în regimul de încărcare-descărcare prezintă dezavantajul unei exploatare greoaie și pe acela al unei siguranțe reduse (mai ales în cazul unei singure baterii care se poate descărca complet în urma unor avarii repetate). De asemenea, din cauza încărcării frecvente a bateriei, uzura plăcilor elementelor se produce prematur.

9.2.2.2. Regimul de încărcare permanentă este caracterizat prin faptul că bateria de acumuloare funcționează permanent în paralel cu un generator. Generatorul debitează un curent egal cu suma dintre curentul absorbit de sarcina permanentă și curentul, de intensitate relativ mică, absorbit de către acumuloare pentru compensarea autodescărării. În momentul apariției unui șoc de sarcină, aceasta este preluată atît de către generator, cît și de către bateria de acumuloare.

Ca urmare, bateria de acumuloare este permanent încărcată; în momentul apariției unui deranjament, cînd alimentarea agregatului de încărcare se întrerupe, acesta este deconectat automat și bateria trece în regim de descărcare, preluînd sarcina rețelei pînă în momentul cînd agregatul este din nou alimentat.

Față de metoda de încărcare-descărcare, metoda de încărcare permanentă este mai simplă, prezintă un grad de siguranță mărit și conduce la o uzură mai înceată a acumuloarelor; de aceea metoda de încărcare permanentă este astăzi folosită cu precădere.

Încărcarea permanentă se poate realiza conform schemei cu comutator de baterie (fig. 9.1). Agregatul SI se conectează la bare (poziția b); de asemenea, comutatorul C_1 se reglează astfel încît tensiunea bateriei să corespundă tensiunii

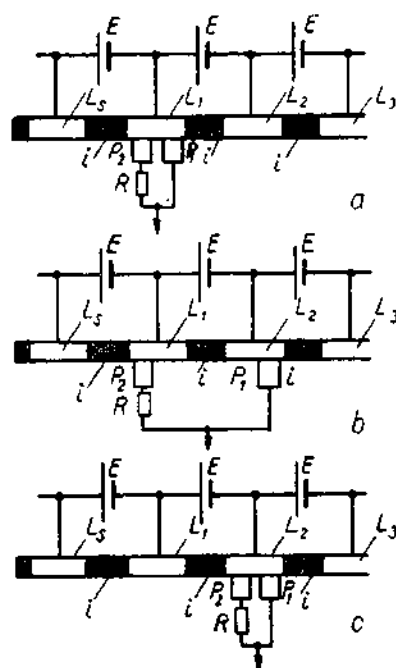


Fig. 9.2. Schema de principiu a comutatorului bateriei de acumuloare în trei poziții succesive: L_1, L_2, L_3 — lamele; i — izolație; P_1, P_2 — perii; R — rezistență; E — element de acumulator

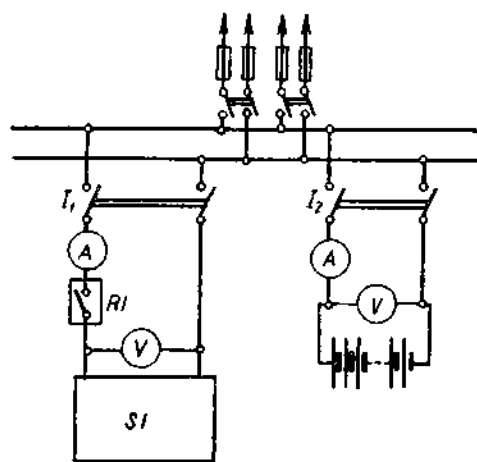


Fig. 9.3. Schema instalației de acumula-toare în regim de încărcare permanentă, fără comutator

cărcare față de regimul de încărcare. O corecție se poate aduce măbind tensiunea în cursul încărcării la valoarea maximă admisibilă pentru receptoare și alegînd bateria de capacitate mai mare, astfel încît în perioada de descărcare tensiunea ei să nu scadă prea mult.

9.2.3. SURSE DE ÎNCĂRCARE PENTRU ACUMULATOARE

Sursele de alimentare a acumulatorilor sînt *surse de încărcare* sau *surse de încărcare permanentă*, după regimul folosit.

Agregatele de încărcare trebuie să aibă o putere mai mare decît agregatele de încărcare permanentă, datorită timpului relativ scurt care stă la dispoziție pentru asigurarea încărcării între două descărcări.

Agregatele de încărcare permanentă trebuie să aibă tensiunea cît mai constantă la variațiile sarcinii, pentru a menaja bateriile; în cazul creșterii tensiunii agregatului, curentul de încărcare a bateriei crește corespunzător și apare pericolul sulfatării acumulatorului. Datorită duratei reduse de funcționare, agregatele de încărcare pot fi supravegheate și reglate manual, deci ele nu trebuie să îndeplinească condiții atît de severe cu privire la invariabilitatea tensiunii.

Pentru încărcarea și încărcarea permanentă a acumulatorilor se folosesc grupuri motor-generator sau redresoare, uscate (la puteri mici) și cu vapori de mercur (la puteri mari).

9.2.3.1. Grupul motor-generator este format dintr-un motor asincron și un generator de curent continuu cu excitație șunt sau, mai bine, —compound.

Generatorul cu excitație compound trebuie să fie bine compoundat, adică cu creșterea sarcinii tensiunea sa la borne să crească ușor, pentru ca să se com-

nominale U . Datorită acestui fapt, o parte din acumulatori sînt scoase din circuit în condițiile normale de funcționare și sînt folosite numai în regim de descărcare, pentru menținerea tensiunii la valoarea constantă. Aceste acumulatori suplimentare nu se încarcă permanent și se autodescărca; ele trebuie să fie încărcate periodic pentru compensarea autodescărării, ceea ce reprezintă dezavantajul principal al schemelor cu comutatoare de baterie.

Eliminarea elementelor suplimentare și deci și a comutatorului, conform figurii 9.3, conduce la simplificarea schemei și, evident, la înlăturarea neajunsurilor semnalate. În schimb, apare dezavantajul că tensiunea scade mult în regimul de des-

penseze creșterile căderii de tensiune pe bare pînă la baterie. Generatorul cu excitație șunt trebuie să funcționeze pe porțiunea saturată a caracteristicii sale magnetice, pentru a se limita variația tensiunii.

Pentru bateriile de acumulateoare cu plumb, generatoarele trebuie să permită reglarea tensiunii între 230—320 V, respectiv 115—160 V (pentru baterii cu tensiunea nominală de 220, respectiv 110 V); la acumulateoarele alcaline, limitele superioare ale tensiunii sînt 460, respectiv 230 V. Se vede că această condiție este în contradicție cu cea pusă privitor la păstrarea constantă a tensiunii. De aceea, în special la generatoarele cu excitație șunt se recomandă utilizarea reglatoarelor automate de tensiune.

9.2.3.2. Agregatul redresor. Agregatul redresor se compune dintr-un transformator, un complex de diode (cu seleniu, cuproxid sau, în construcțiile mai noi, siliciu sau germaniu) și aparate auxiliare de reglare și protecție. Uneori, partea redresoare propriu-zisă o constituie un redresor cu vapori de mercur.

Transformatorul are rolul de a furniza părții redresoare o tensiune care, redresată, are valoarea dorită; înlocuirea transformatorului prin autotransformator nu este permisă, pentru a evita apariția tensiunilor periculoase în cazul punerii la pămînt a unei faze, datorită însumării tensiunii alternative cu cea continuă a bateriei. În afară de aceasta, în cazul cuplajului electric dintre rețelele celor două feluri de curenți, crește probabilitatea unei acționări necorecte a protecției și automatizării, care este posibilă la punerea la pămînt a unei faze din rețea.

Reglarea tensiunii se poate realiza în trepte, modificînd numărul de spire ale transformatorului. Reglarea continuă se execută cu ajutorul unor reactanțe variabile, conectate pe partea de curent alternativ. Aceste reactanțe sînt constituite din bobine cu saturație; aceste bobine poartă pe miezul de oțel, alături de înfășurarea de curent alternativ și o înfășurare de excitație parcursă de curent continuu; modificarea curentului de excitație conduce la modificarea permeabilității miezului, odată cu care se schimbă și inductanța bobinei.

9.2.4. INSTALAREA BATERIILOR DE ACUMULATOARE

În cursul exploatării din bateriile de acumulateoare se degajă vapori de acid sulfuric, care deteriorează echipamentele și sînt dăunători sănătății. De asemenea, în procesul de încărcare se degajă hidrogen și alte gaze care prezintă pericol de incendiu și explozie. Din aceste motive, instalarea bateriilor de acumulateoare trebuie efectuată cu precauțiuni deosebite.

Bateria se plasează într-o încăpere la parterul clădirii, cît mai aproape de încăperea tabloului de comandă. Dacă se folosesc baterii de acumulateoare acide și alcaline, acestea trebuie instalate în încăperi separate, pentru că vaporii de acid sulfuric distrug plăcile și deteriorează electrolitul acumulateoarelor alcaline.

În încăpere trebuie asigurată o bună ventilație; orificiile de ventilație trebuie plasate în părțile superioară și inferioară ale încăperii, pentru absorbția gazelor ușoare și grele. Conductele de ventilație vor fi separate de conductele de fum

sau de cele ale sistemului general de ventilație a clădirii. Motorul ventilatoarelor este de tip închis; toate părțile metalice ale ventilatorului se acoperă cu vopsea rezistentă la acizi. Ventilatorul se montează în exteriorul camerei de acumulare.

Instalația de ventilație trebuie să asigure schimbarea de 5—6 ori pe oră a aerului din încăpere. Trebuie luate măsuri ca temperatura în încăpere să fie cuprinsă între 10—25°C. Ventilația acumulatorilor acide și alcaline se realizează separat.

Încăperea trebuie să fie luminoasă, fără ca elementele acumulatorilor să fie supuse radiațiilor solare directe; de aceea, geamurile ferestrelor vor fi din sticlă mată sau acoperită cu vopsea albă. Prevederea ferestrelor spre exterior este obligatorie, acestea constituind o „supapă” în caz de explozie.

Instalația de iluminat se realizează din cabluri în manta de plumb; armăturile vor fi de tip special, protejate împotriva exploziilor sau instalate în afara încăperii și iluminând încăperea prin fereastră. În încăperea care adăpostește bateria și în vestibul nu se instalează comutatoare, prize sau siguranțe fuzibile, pentru a preîntîmpina exploziile.

Pardoseala încăperii acumulatorilor se acoperă cu asphalt special care, la lovire, nu produce scînteii.

Figura 9.4 prezintă modul de plasare a acumulatorilor în încăpere și distanțele minime care trebuie asigurate. Acumulatorii 6 se instalează pe ste-

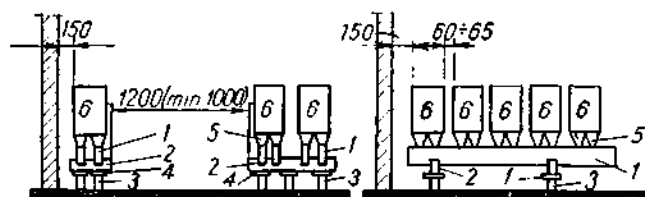


Fig. 9.4. Instalarea bateriilor de acumulare și distanțe minime

laje de lemn, construite sub forma unor grinzi longitudinale 1, legate prin grinzi transversale 2 și instalate pe suporturi de lemn 3. Stelajele sînt izolate de pardoseală prin plăci de sticlă 4 și acumulatorii se izolează de stelaj prin izolatoare de sticlă 5.

Îmbinările conductoarelor dintre acumulatori se realizează prin lipire. Conductoarele de racord la acumulatori se execută din cupru sau oțel rotund, fără izolație, pe izolatoare suport. Legăturile se execută prin sudură; ele se vopsesc cu vopsele rezistente la acizi sau la alcalii, conductorul plus — cu roșu, conductorul minus — cu albastru. După vopsire conductoarele se acoperă cu un strat de vaselină.

Racordul la polul pozitiv al bateriei se scoate din încăpere printr-un izolator de trecere din porțelan; racordurile de la acumulatorii suplimentare la comutatorul de elemente se realizează cu ajutorul unor șuruburi din alamă fixate într-o placă izolantă (pentinax, ebonită), care este, la rîndul ei, fixată de peretele încăperii acumulatorilor.

Alături de încăperea acumulatorilor se va prevedea o magazie pentru păstrarea acidului, a apei distilate, pieselor de rezervă și a dispozitivelor auxiliare. Grupul de încărcare sau încărcare permanentă se va găsi, de asemenea, într-o încăpere separată. Intrarea în încăperea acumulatorilor și în magazie se va face printr-un vestibul, care creează un spațiu tampon în calea răspîndirii gazelor.

9.3. GRUPURI MOTOR-GENERATOR

Grupurile motor-generator sînt foarte rar folosite drept surse de curent operativ; ele își găsesc uneori aplicare ca surse de rezervă locală, în special atunci cînd este necesară alimentarea cu curent alternativ în cursul înlăturării avariilor. Avantajul agregatelor de curent continuu față de bateriile de acumulatori constă în posibilitatea instalării unor puteri mari, a unei întrețineri mai simple și în posibilitatea menținerii ușoare a tensiunii constante, folosind regulatoare automate. Dezavantajul lor constă în necesitatea pornirii grupurilor, care durează un anumit timp din momentul producerii avariei; în tot acest interval de timp receptoarele nu sînt alimentate. În cazul folosirii bateriilor de acumulatori, continuitatea alimentării este practic asigurată.

În prezent, pornirea grupurilor motor-generator se face automat în momentul producerii deranjamentului și durează un timp destul de scurt (cîteva secunde); în acest fel agregatele motor-generator pot fi folosite ca surse de rezervă în studiouri de radio și televiziune, în hoteluri mari, spitale etc.

Generatoarele utilizate sînt generatoare sincrone trifazate sau de curent continuu excitate în derivație sau mixt; în general, ele sînt prevăzute cu regulatoare automate de tensiune.

Motoarele de antrenare sînt cu combustie internă — cu explozie sau diesel; în centralele termice s-a folosit uneori acționarea generatoarelor prin mașini cu aburi.

După cum s-a arătat, problema cea mai grea legată de exploatarea grupurilor electrogene cu motoare cu combustie internă este pornirea acestora. Motoarele nu au cuplu de pornire; de aceea la pornire trebuie să se asigure rotirea arborelui motorului, comunicîndu-se acestuia cuplul accelerator și învingîndu-se totodată cuplul de frecare și cuplul antagonist care apare în timpul compresiei. Condițiile de pornire sînt în general grele din cauza ungerii insuficiente. La pornire, motorului trebuie să i se imprime o turație de 40—60 rot/min; cu cît turația este mai mare, cu atît pornirea durează un timp mai scurt.

În prezent se folosesc următoarele metode de pornire.

— *Pornirea manuală* care se execută cu ajutorul unei manivele.

— *Pornirea cu starter electric.* Starterul este un complex de dispozitive format dintr-un motor electric alimentat de o baterie de acumulatori și din mecanismul de cuplare a arborelui motorului de pornire cu arborele motorului cu ardere internă.

Pornirea electrică se face comod prin apăsarea unui buton sau automat, prin închiderea unui contact de către dispozitivul *AAR* (v. par. 5.2.4). Durata pornirii este redusă; de asemenea, greutatea întregii instalații este relativ mică. Dezavantajul constă în necesitatea întreținerii relativ greoaie a instalației de acumulatori.

Motoarele electrice folosite drept startere trebuie să aibă un cuplu de pornire cât mai mare și să absoarbă un curent de pornire cât mai mic; de asemenea, ele trebuie să fie puțin sensibile la modificările tensiunii bateriei de alimentare. Aceste însușiri sînt întrunite în cea mai mare măsură de motorul de curent continuu excitat în serie.



AMELIORAREA FACTORULUI DE PUTERE

10.1. FACTORUL DE PUTERE ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE

În general, factorul de putere este definit de raportul :

$$K = \frac{P}{S} \quad (10-1)$$

unde P este puterea activă în kW ; S — puterea aparentă în kVA, iar

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (10-2)$$

unde Q este puterea reactivă, în kvar.

În regim sinusoidal monofazat sau trifazat simetric :

$$P = S \cos \varphi, \quad (10-3)$$

deci :

$$K = \cos \varphi, \quad (10-4)$$

unde φ este unghiul de defazaj dintre tensiune și curent, care la regimul trifazat simetric este același la cele trei faze.

Din relațiile de mai sus se observă că factorul de putere este cu atât mai mic, cu cât puterea reactivă este mai mare. Sub aspectul comportării față de puterea reactivă, elementele de circuit se clasifică în *receptoare* de putere reactivă și *generatoare* de putere reactivă. Trebuie arătat că prin *putere reactivă* se înțelege *puterea reactivă inductivă* ; *puterea reactivă capacitivă* este echivalentă cu puterea reactivă inductivă, care circulă în sens contrar. De aceea, de exemplu, un receptor de putere reactivă (inductivă) este echivalent cu un generator de putere reactivă capacitivă.

Cele mai răspândite receptoare de energie reactivă sînt motoarele asincrone, transformatoarele, motoarele sincrone subexcitate.

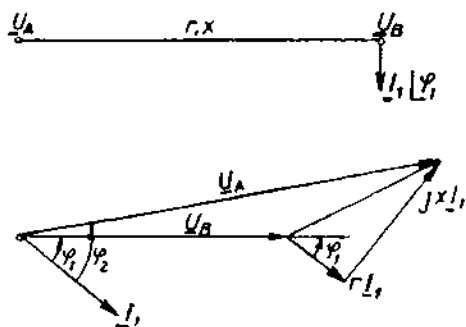


Fig. 10.1. Micșorarea factorului de putere la o linie inductivă: $\underline{U}_A$ — tensiunea la sursă; $\underline{U}_B$ — tensiunea la consumator; r — rezistența liniei; x — reactanța liniei; $\underline{I}_1$ — curentul absorbit de consumator; φ_1 — defazajul la consumator; φ_2 — defazajul la sursă

Generatoarele de energie reactivă întâlnite în sistemele energetice sînt mașinile sincrone (generator, motor, compensator) supraexcitate, condensatoarele statice, liniile electrice în cablu.

Dacă linia electrică are un caracter inductiv, factorul de putere la sursa de alimentare este mai mic decît cel de la consumator. Considerînd o linie cu o sarcină concentrată la capăt ca în figura 10.1 și scriînd ecuația tensiunilor, dacă r și x sînt parametrii liniei, iar x are un caracter inductiv, rezultă:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_B + r\underline{I} + jx\underline{I}. \quad (10-5)$$

Din diagrama fazorială din figura 10.1 rezultă că $\varphi_2 > \varphi_1$ deci $\cos \varphi_2 < \cos \varphi_1$.

10.2. CONSECINȚELE SCĂDERII FACTORULUI DE PUTERE ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE

Scăderea factorului de putere produce efecte negative în instalațiile electrice, ce vor fi explicate în cele ce urmează.

a. *Supradimensionarea instalațiilor de producere, transport și distribuție.* Puterea activă transportată în curent alternativ trifazat este dată de relația:

$$P = \sqrt{3} U_n I \cos \varphi, \quad (10-6)$$

iar curentul:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}. \quad (10-7)$$

Analizînd aceste relații, se observă că la putere activă P constantă, la scăderea factorului de putere $\cos \varphi$ se produce creșterea curentului, ceea ce determină supradimensionarea instalațiilor electrice.

b. *Creșterea pierderilor de putere.* Conform capitolului 4, pierderile de putere în regim trifazat sinusoidal alternativ sînt date de relația:

$$\Delta p = \frac{r P^2}{U^2 \cos^2 \varphi}, \quad (10-8)$$

sau :

$$\Delta p = \frac{r}{U^2} (P^2 + Q^2). \quad (10-9)$$

Din relațiile (10—8) și (10—9) se observă că pierderile de putere variază invers proporțional cu pătratul factorului de putere și respectiv direct proporțional cu pătratul puterii reactive.

c. *Scăderea capacității de încărcare cu putere activă rezultă din relația :*

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}. \quad (10-10)$$

La S constant, majorarea lui Q determină scăderea capacității de încărcare cu putere activă P a instalațiilor.

d. *Creșterea pierderii de tensiune.* Conform capitolului 4, pierderile de tensiune sînt date de relația :

$$\Delta U = \frac{rP + xQ}{U}. \quad (10-11)$$

Din relația (10—11) rezultă că, la creșterea puterii reactive pierderea de tensiune crește, necesitînd supradimensionarea instalațiilor de transport.

e. *Supradimensionarea întreruptoarelor automate.* În cazul în care generatoarele sincrone debitează pe o sarcină cu caracter inductiv pronunțat, acestea trebuie să funcționeze supraexcitate. Ca urmare, în caz de scurtcircuit, curentul permanent de scurtcircuit I_∞ are o valoare ridicată.

De asemenea, la $\cos \varphi$ scăzut, inductivitatea fiind mare, constanta de timp T (rel. 4—89) a circuitului este, de asemenea, mare și curentul de scurtcircuit atinge valoarea permanentă I_∞ după un timp mai îndelungat. Aceste elemente fac necesară mărirea corespunzătoare a puterii de rupere a întreruptoarelor, pentru a putea rezista la valorile ridicate ale curentului de scurtcircuit în momentul întreruperii.

10.3. COMPENSAREA PUTERII REACTIVE

Date fiind efectele negative ale scăderii factorului de putere, ameliorarea sa este obligatorie, prin normative stabilindu-se un factor de putere admisibil (neutral), care are valoarea 0,95 pentru tensiuni peste 110 kV și 0,93 pentru tensiuni sub 110 kV.

O instalație de compensare a puterii reactive, indiferent de modul de realizare a compensării, acționează în sensul micșorării unghiului de defazaj (fig. 10.2).

P_1 , Q_1 , S_1 , φ_1 caracterizează consumatorul înainte de compensare și P_2 , Q_2 , S_2 , φ_2 — după compensare. Se poate considera $P_1 = P_2$, neglijînd pierderile de putere activă în instalația de compensare (Δp_c), ceea ce este posibil pentru că $\Delta p_c \ll P_1$ sau P_2 .

Din figură rezultă puterea instalației de compensare :

$$Q_c = Q_1 - Q_2. \quad (10-12)$$

Aceleași concluzii apar și din figura 10.3, în care s-a luat în considerare diagrama curenților. S-a notat cu I_1 — curenții înainte de compensare (I_{1a} — componenta sa activă și I_{1r} — componenta sa reactivă), cu I_2 — curenții după compensare (I_{2a} — componenta sa activă și I_{2r} — componenta sa reactivă).

Curenții capacitiv necesar I_c pentru ca să se realizeze $\varphi_2 < \varphi_1$, este :

$$I_c = I_1 - I_2 \quad \text{și} \quad I_c = I_{1r} - I_{2r}. \quad (10-13)$$

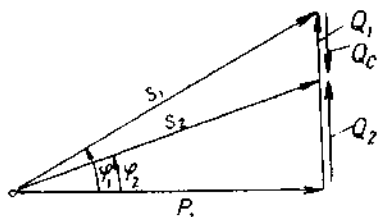


Fig. 10.2. Explicativ la modul de compensare a puterii reactive

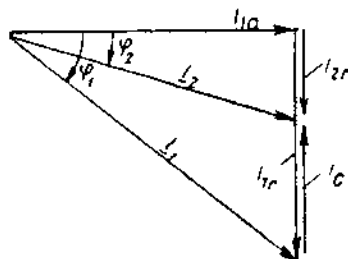


Fig. 10.3. Explicativ la modul de compensare a curenților inductivi

Deci efectul de compensare se poate realiza prin elemente capacitive, care produc un defazaj opus față de elementele inductive, adică trebuie introduse în rețea generatoare de energie reactivă (inductivă).

Se observă că Q_c poate varia de la zero la Q_1 , în sensul compensării parțiale sau totale a puterii reactive. Este interesant de efectuat studiul micșorării pierderilor de putere în instalație, Δp , datorită introducerii instalației de compensare a puterii reactive. Micșorarea pierderilor de putere este dată de relația :

$$\Delta p = \Delta p_1 - \Delta p_2, \quad (10-14)$$

unde Δp_1 și Δp_2 sînt pierderile de putere activă în linie înainte, respectiv după compensare. Însă :

$$\Delta p_1 = \frac{r}{U^2} (P_1^2 + Q_1^2) \quad \text{și} \quad \Delta p_2 = \frac{r}{U^2} (P_2^2 + Q_2^2). \quad (10-15)$$

Considerînd $P_1 \cong P_2$ și introducînd relația (10-15) în (10-14) se obține :

$$\Delta p = \frac{r}{U^2} (Q_1^2 - Q_2^2); \quad (10-16)$$

dar din relația (10-12) :

$$Q_2 = Q_1 - Q_c, \quad (10-17)$$

cu care relația (10—16) devine :

$$\Delta p = \frac{r}{U^2} Q_c (2Q_1 - Q_c). \quad (10-18)$$

Raportul

$$K_e = \frac{\Delta p}{Q_c}, \quad (10-19)$$

denumit *echivalentul energetic al puterii reactive* [W/var], reprezintă micșorarea pierderilor de putere activă față de micșorarea sarcinii reactive.

Considerînd relația (10—18), (10—19) devine :

$$K_e = \frac{rQ_1}{U^2} \left(2 - \frac{Q_c}{Q_1} \right). \quad (10-20)$$

Mărimea :

$$K_s = \frac{rQ_1}{U^2} \quad (10-21)$$

reprezintă pierderile specifice de energie ce apar la transportul puterii reactive Q_1 [W/var]. Atunci :

$$K_e = K_s \left(2 - \frac{Q_c}{Q_1} \right). \quad (10-22)$$

Se observă că :

— la $Q_c = Q_1$, $K_e = K_s$, deci la compensare totală echivalentul energetic are valoarea minimă ;

— la $Q_c = 0$, $K_e = 2K_s$, deci dacă nu se realizează o compensare, echivalentul K_e are valoarea maximă.

— Prin urmare, valoarea echivalentului energetic variază între cele două limite extreme K_s și $2K_s$, fiind maximă dacă puterea reactivă este total compensată.

Se observă, de asemenea, că echivalentul energetic depinde de rezistența rețelei prin intermediul lui K_s , adică valoarea sa crește cu atât mai mult cu cît punctul considerat este mai îndepărtat de centrala electrică.

Pentru găsirea puterii optime a instalației de compensare ($Q_{c \text{ optim}}$) trebuie întocmit un calcul tehnico-economic care să țină seama de factorii care influențează compensarea.

10.4. MIJLOACE PENTRU COMPENSAREA PUTERII REACTIVE ÎN SCOPUL AMELIORĂRII FACTORULUI DE PUTERE

Mijloacele de compensare a puterii reactive se pot clasifica în :

— mijloace de compensare pe cale naturală, realizate prin măsuri de raționalizare, de montaj cu cheltuieli foarte mici, fără instalații speciale de producere a energiei reactive ;

— mijloace de compensare pe cale artificială, cu investiții în instalații speciale de compensare.

10.4.1. MIJLOACE NATURALE PENTRU COMPENSAREA PUTERII REACTIVE

Drept mijloace naturale de compensare a puterii reactive pot fi folosite sistemele descrise mai jos, care nu necesită cheltuieli de investiții importante.

1. Înlocuirea motoarelor asincrone subîncărcate, care funcționează cu un factor de putere scăzut, cu motoare asincrone de putere mai mică, încărcate nominal.

Se știe că, dacă motoarele asincrone funcționează subîncărcat, factorul de putere este scăzut. Înlocuirea cu un motor de putere mai mică conduce totodată la creșterea randamentului motorului.

2. Modificarea tensiunii de alimentare la motoarele subîncărcate, realizată prin autotransformatoare sau comutatoare stea-triunghi.

Utilizarea comutatoarelor stea-triunghi pentru modificarea conexiunilor staționale ale motoarelor asincrone este posibilă în cazul în care acestea funcționează subîncărcate la puteri utile sub 30% din valoarea nominală, căci prin conectarea în stea cuplul maxim al motorului este de trei ori mai mic decât în conexiunea triunghi. Acest sistem poate fi utilizat dacă subîncărcarea este periodică, fiind determinată de procesul tehnologic.

3. Pentru a evita funcționarea motoarelor asincrone subîncărcate la acționarea mașinilor unelte, se pot introduce limitatoare de mers în gol, care au rolul de a deconecta alimentarea motorului dacă mersul în gol are o durată mai mare decât cea normală (de ex. 10 s). Măsura este justificată tehnic prin aceea că la mersul în gol motoarele asincrone absorb aproape exclusiv putere reactivă, utilizată pentru crearea cîmpului magnetic în fierul mașinilor.

4. Deconectarea transformatoarelor cînd acestea sînt încărcate cu o sarcină sub 30% din sarcina nominală, deoarece transformatoarele subîncărcate devin consumatoare de energie reactivă. De asemenea, este recomandată funcționarea după grafic în regim economic a transformatoarelor (v. cap. 7).

5. Raționalizarea procesului tehnologic din punct de vedere al încărcării uniforme a motoarelor, dacă aceasta este posibil.

6. Înlocuirea motoarelor asincrone de puteri mari cu motoare sincrone.

7. Sincronizarea motoarelor asincrone, cînd sarcina la arbore nu depășește 70% din puterea nominală. În acest scop, rotoarele motoarelor asincrone mari se alimentează cu curent continuu prin intermediul unor redresoare. Motoarele sînt pornite în regim asincron și cînd ajung la turația nominală se introduce curent continuu (de excitație) în circuitul rotorului, motorul fiind adus la turația de sincronism.

Sincronizarea motoarelor asincrone se admite numai în situații excepționale și numai pentru perioade de timp limitate. Trecerea de la regim asincron la sincron și invers (în caz de supraîncărcare) este indicat a se realiza prin comutatoare automate.

8. Înlocuirea transformatoarelor slab încărcate dacă puterea consumată este permanent sub 50% din puterea nominală a postului de transformare.

În situațiile de la punctele 1, 3, 6 și 8 întocmirea unui calcul tehnico-economic este absolut necesară pentru justificarea soluției adoptate.

Dacă se notează: Z_a —cheltuieli anuale pentru montarea și exploatarea mijlocului de compensare, cheltuieli care țin seama și de amortizarea investiției (în 10 ani); Z_c —cheltuieli anuale economisite în urma instalării mijlocului de compensare, atunci compensarea este considerată eficientă dacă:

$$Z_a < Z_c. \quad (10-23)$$

10.4.2. MIJLOACE ARTIFICIALE (SPECIALE) DE COMPENSARE A PUTERII REACTIVE

Ca mijloace artificiale (speciale) de compensare a puterii reactive se folosesc următoarele sisteme: compensatoare sincrone, motoare sincrone supraexcitate, compensatoare de fază și condensatoare statice.

Utilizarea mijloacelor artificiale de compensare a puterii reactive este indicată acolo unde factorul de putere este sub limita neutrală, la marii consumatori industriali sau la marii consumatori neindustriali la care puterea instalată pentru forță reprezintă mai mult de 50% din puterea totală instalată și mai mult de 50 kW.

10.4.2.1. Utilizarea compensatoarelor sincrone. Compensatoare sincrone sînt mașini sincrone care funcționează în gol supraexcitate și produc energie reactivă.

Funcționarea acestora poate fi urmărită folosind caracteristicile în V ale mașinii sincrone (fig. 10.4). În ordonată sînt reprezentați curentul statoric I_2 și $\cos \varphi$, iar în abscisă curentul de excitație I_e . La supraexcitarea mașinii peste curentul de excitație I_{e0} , aceasta produce putere reactivă pe care o furnizează în rețea.

Avantajele compensatoarelor sincrone sînt: reglajul simplu și continuu prin variația curentului de excitație, mărirea stabilității sistemului energetic la scurt-circuit, cînd contribuie la menținerea tensiunii rețelei și ușurează astfel funcționarea în sincronism a alternatoarelor.

Dezavantajele lor constau în existența mecanismelor în mișcare, care se uzează relativ mai ușor decît elementele statice și necesită o întreținere atentă și permanentă.

Compensatoarele sincrone se utilizează în special în rețele de distribuție, în centralele sistemului energetic, putînd fi utilizate și ca regulatoare de tensiune. Astfel, dacă linia funcționează în gol (fig. 10.5), curentul absorbit I_0 este capacitiv și este posibil ca $U_B > U_A$. În această situație compensatorul va funcționa subexcitat, absorbînd din rețea un curent inductiv și producînd o cădere de tensiune inductivă, ceea ce va provoca scăderea tensiunii U_B . Dacă linia funcționează cu sarcină inductivă (fig. 10.1), atunci $U_A > U_B$ și compensatorul va funcționa supraexcitat, debitînd curent inductiv care provoacă micșorarea pierderii de tensiune simultan cu micșorarea defazajului.

10.4.2.2. Utilizarea motoarelor sincrone supraexcitate. Acestea funcționează, în principiu,

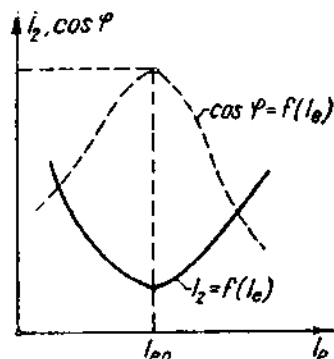


Fig. 10.4. Diagrama în V a mașinii sincrone

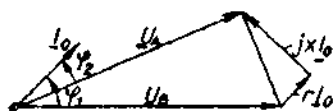


Fig. 10.5. Explicativă la funcționarea liniilor în gol

identic cu compensatoarele sincrone, cu deosebirea că puterea reactivă este produsă în paralel cu consumul de putere activă.

10.4.2.3. Utilizarea compensatoarelor de fază.

Principiul ameliorării factorului de putere prin compensatoare de fază se bazează pe faptul că puterea reactivă este proporțională cu frecvența. Într-adevăr, cu notațiile cunoscute:

$$Q = XI^2 = \omega LI^2 = 2\pi f LI^2. \quad (10-24)$$

De aceea, în principiu, alimentarea mașinii asincrone cu putere reactivă prin circuitul rotoric conduce la importante economii de putere reactivă. Problema care trebuie să fie rezolvată este însă producerea puterii reactive sub frecvența de alunecare $s f_1$. În acest scop se utilizează *compensatoarele de fază*.

Dintre variantele constructive ale compensatoarelor de fază, cea mai simplă constă într-un rotor de mașină de curent continuu, pe al cărui colector calcă trei perii legate la inelele motorului asincron. Rotorul compensatorului este rotit de un motor auxiliar cu o turație mai mare decât cea a motorului principal; atunci rotorul motorului asincron principal absoarbe puterea reactivă produsă în compensatorul de fază.

Compensatoarele de fază se utilizează formînd cascade cu motoare asincrone de puteri de peste 200 kW. Factorul de putere al motorului cu compensator este simțitor ameliorat pentru o sarcină de ordinul 30% din cea nominală, iar pentru sarcini de 60% și mai mari motorul funcționează cu $\cos \varphi \approx 1$.

Dezavantajul folosirii compensatoarelor de fază constă în instalația mai complicată și în pericolul de defectare propriu mașinilor cu colector.

10.4.2.4. Utilizarea condensatoarelor statice. Condensatoarele statice reprezintă mijlocul cel mai utilizat pentru compensarea puterii reactive datorită simplității lor constructive și întreținerii simple.

Fie un generator de curent alternativ monofazat care alimentează un consumator inductiv M_1 (fig. 10.6); acesta absoarbe curentul inductiv I_1 , defazat cu $\frac{\pi}{2}$ înapoi față de tensiune. Pentru ameliorarea factorului de putere ($\cos \varphi_1$) se introduce condensatorul C , care absoarbe curentul capacitiv I_c defazat cu $\frac{\pi}{2}$ înainte față de tensiune, obținîndu-se un curent I_2 compensat care formează cu tensiunea un unghi $\varphi_2 < \varphi_1$ (figura 10.3). În această figură s-au notat cu indicele a componentele active și cu indicele r componentele reactive. Se observă că:

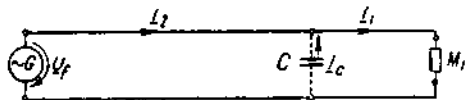


Fig. 10.6. Legarea bateriei de condensatoare la o rețea monofazăată ce alimentează un receptor inductiv

$$I_c = I_1 - I_2 = I_{1r} - I_{2r}, \quad (10-25)$$

sau, în modul :

$$I_c = I_{1r} - I_{2r} = I_1 \sin \varphi_1 - I_2 \sin \varphi_2 ; \quad (10-26)$$

însă :

$$I_{1a} \approx I_{2a} \text{ sau } I_1 \cos \varphi_1 = I_2 \cos \varphi_2,$$

deci :

$$I_2 = I_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} . \quad (10-27)$$

Introducînd relația (10-27) în (10-26), împărțind expresia obținută cu $\cos \varphi_1$ și înmulțind cu U_f , se obține :

$$U_f I_c = U_f I_1 \cos \varphi (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (10-28)$$

sau :

$$Q_c = P_1 (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2). \quad (10-29)$$

Cu relația (10-29) se poate determina puterea bateriei de condensatoare monofazate cunoscînd unghiul φ_2 de defazaj ameliorat, care se determină în urma unui calcul tehnico-economic.

Capacitatea bateriei în sistem monofazat se deduce din relațiile :

$$Q_c = U_f I_c \quad (10-30)$$

și

$$I_c = U_f C \omega ; \quad (10-31)$$

rezultă :

$$Q_c = U_f^2 C \omega$$

și

$$C = \frac{Q_c}{U_f^2 \omega} . \quad (10-32)$$

Analog, în sistem trifazat, rezultă :

$$C = \frac{Q_c}{3U_f^2 \omega} = \frac{Q_c}{U^2 \omega} , \quad (10-33)$$

unde U este tensiunea de linie.

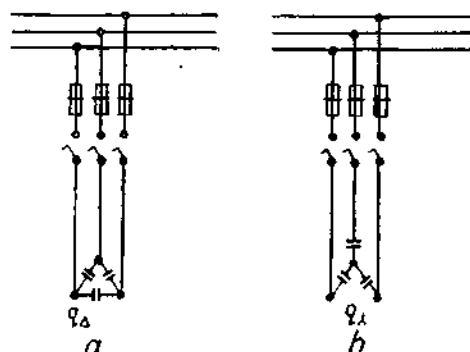


Fig. 10.7. Legarea condensatoarelor la o rețea trifazată: a — în triunghi (recomandabil); b — în stea (neindicat)

În curent alternativ trifazat condensatoarele se pot lega la rețea în stea sau în triunghi (fig.10.7).

Fie: C_Y — capacitatea bateriei la conexiunea în stea; C_Δ — idem, la conexiunea în triunghi; q_Y — puterea bateriei pe fază în stea; q_Δ — idem, în triunghi; Q_Y — puterea totală a bateriei în stea; Q_Δ — idem, în triunghi.

În tabelul 10.1 sînt date comparativ cele două situații.

Punînd condiția de a obține aceeași putere reactivă în ambele situații ($Q_\Delta = Q_Y$), rezultă:

$$C_\Delta = \sqrt{\frac{1}{3}} C_Y. \quad (10-34)$$

Prin urmare, la putere egală a bateriei de condensatoare, la conexiunea în triunghi, capacitatea bateriei este de trei ori mai mare decît la conexiunea în stea. Dată fiind această proprietate, la tensiune joasă condensatoarele se leagă

Tabelul 10.1.

Legarea condensatoarelor în triunghi	Legarea condensatoarelor în stea
$Q_\Delta = 3q_\Delta$	$Q_Y = 3q_Y$
$q_\Delta = U^2 C_\Delta \omega$	$q_Y = U^2 C_Y \omega = \left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right)^2 C_Y \omega = \frac{U^2 C_Y \omega}{3}$
$Q_\Delta = 3U^2 C_\Delta \omega$	$Q_Y = U^2 C_Y \omega$

în triunghi. La medie tensiune, dacă sînt legate direct la rețea, condensatoarele se leagă în stea pentru a evita supradimensionarea impusă de tensiunea mai mare la care ar fi supus condensatorul dacă ar fi legat în triunghi.

Dacă însă bateriile de condensatoare au secțiunile astfel conectate (serie-paralel) încît tensiunile la bornele fiecărui condensator să fie sub 1 000 V, atunci se adoptă conexiunea în triunghi.

Montarea bateriilor de condensatoare la consumator se poate realiza:

- centralizat pe întreprindere;
- descentralizat la fiecare receptor;
- moderat descentralizat.

La întreprinderile mari, montarea moderat descentralizată este cea mai eficientă, evitându-se pierderile de putere și mărirea secțiunii datorită transportului de energie reactivă.

La întreprinderile relativ mici, cel mai eficient sistem, datorită posibilităților de exploatare și supraveghere, este sistemul centralizat.

Sistemul descentralizat conduce la cheltuieli suplimentare pentru amenajări locale de celule cuprinzând condensatoarele și aparatul necesar pentru conectare-deconectare, fiind utilizat la receptoare de mare putere (motoare asincrone cu puteri de peste 100...200 kW). De asemenea, se utilizează când în întreprindere există receptoare izolate.

În orice caz, la montarea descentralizată capacitatea condensatoarelor trebuie aleasă încît să fie respectată condiția:

$$I_c \leq I_0, \quad (10-35)$$

unde I_c este curentul capacitiv al bateriei; I_0 — curentul de mers în gol al receptorului inductiv, în scopul evitării apariției în rețea a unui curent capacitiv.

Sistemul descentralizat se utilizează, de asemenea, pentru condensatoarele necesare ameliorării factorului de putere la receptoare de foarte mică putere (lămpi fluorescente, lămpi cu vapor de mercur de înaltă presiune și, în general, toate lămpile cu descărcări în gaze sau vapor metalici), la care transportul puterii reactive prin circuite și coloane ar determina supradimensionarea nejustificată a secțiunii conductoarelor.

Condensatoarele se pot monta fie pe stelaje metalice (cu 2—3 etaje și 1—2 rînduri), fie în dulapuri (panouri metalice cu acces din față).

Sub bateriile de condensatoare mari, la care cantitatea de ulei depășește 25 kg, se prevede o cuvă din oțel pentru ulei ce trebuie calculată pentru 1/3 din volumul de ulei al tuturor condensatoarelor.

Legarea condensatoarelor la instalația electrică, dacă ele sînt montate descentralizat, se poate face ca în figura 10.8 prin intermediul întreruptorului automat ce acționează și motorul.

Dacă soluția aleasă este de tip descentralizat moderat, legarea condensatoarelor se face direct la barele tabloului de distribuție prin întreruptoare automate sau contactoare cu elemente de protecție (fig. 10.9). Această schemă poate fi utilizată și pentru baterii montate la motoare de puteri mari, la care comanda bateriei se face independent.

Dacă compensarea se face centralizat, la joasă tensiune, atunci instalația de legare la rețea a bateriei de condensatoare trebuie prevăzută cu posibilitatea de conectare-deconectare în trepte, pentru a permite reglarea capacității în funcție de consumul de putere reactivă al receptoarelor inductive (fig. 10.10).

Pentru instalațiile importante, în scopul unei exploatare eficiente, este necesară automatizarea instalației de condensatoare (fig. 10.11), care să conecteze și să deconecteze automat treptele prin intermediul unui releu varmetric ce sesizează necesitatea de compensare în funcție de valoarea stabilită pentru factorul de putere optim. Astfel traductorul varmetric 3 este acționat ca și un contor, datorită cuplului proporțional cu puterea reactivă ($kUI \sin \varphi$) măsurată la barele

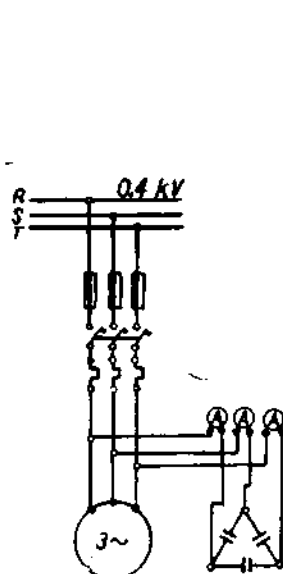


Fig. 10.8. Schema de conectare a bateriei de condensatoare prin întreruptorul de joasă tensiune al motorului.

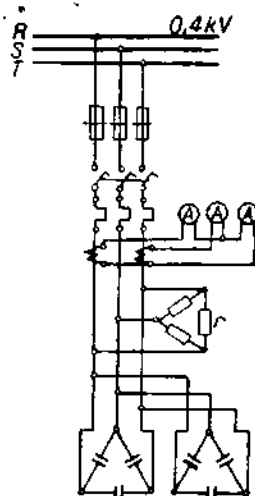


Fig. 10.9. Schema de conectare independentă a bateriei de condensatoare la barele de joasă tensiune

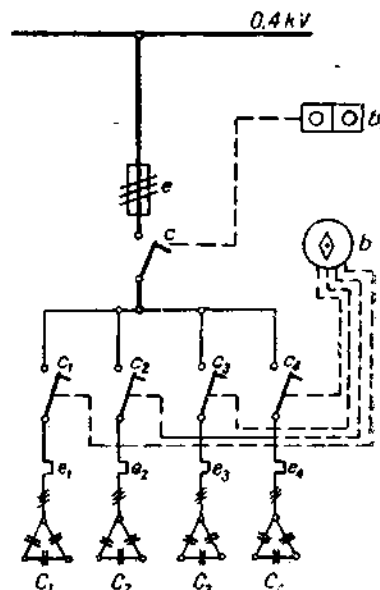


Fig. 10.10. Schema de conectare în trepte a bateriei de condensatoare: e — siguranță; c — întreruptor general; e₁...e₄ — relee termice; b₁ — buton de comandă întreruptor general; b — comutator în trepte; C₁, C₂, C₃, C₄ — condensatoare

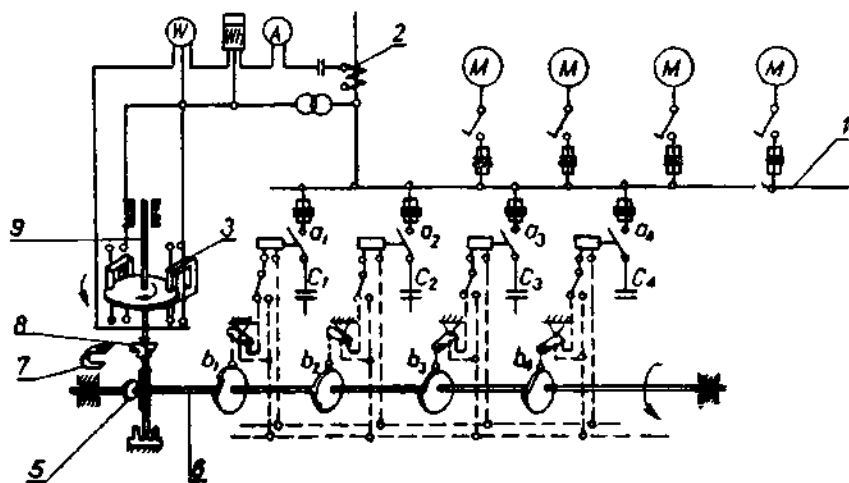


Fig. 10.11. Schema de comandă automată a bateriilor de condensatoare pentru legare la tablourile marilor consumatori

consumatorului 1 prin transformatoarele de măsură 2 (un transformator de curent și unul de tensiune). Discul 4 antrenează prin intermediul angrenajului 5 axul cu came 6, care se rotește cu un unghi proporțional cu puterea reactivă, închizând prin intermediul camelor contactele basculante (b_1, b_2, b_3, b_4)* din circuitul de comandă al întreruptoarelor automate (a_1, a_2, a_3, a_4) care conectează condensatoarele C_1, C_2, C_3, C_4 . Cuplul rezistent este produs de magnetul permanent 7 care realizează o frînare magnetică asupra stelei de fier 8 fixate pe axul 9.

Dacă condensatoarele sînt montate pe rețeaua de medie tensiune (6—10 kV) descentralizat, atunci legarea lor se face ca în figura 10.12. Se observă că schema cuprinde aceleași elemente ca și la bateriile de joasă tensiune, cu excepția aparatelor de măsură care se leagă prin intermediul transformatoarelor, iar conectarea bateriei se face prin întreruptorul comun al transformatorului.

În figura 10.13 este reprezentată o baterie de condensatoare de medie tensiune legată independent la rețea.

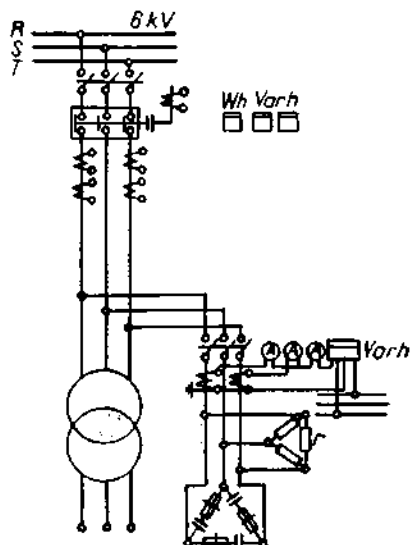


Fig. 10.12. Schema de conectare a condensatoarelor legate la barele de medie tensiune prin întreruptor comun

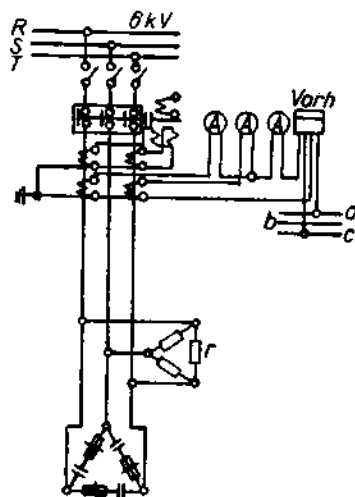


Fig. 10.13. Schema de conectare independentă a condensatoarelor legate la barele de medie tensiune

La deconectarea bateriei de condensatoare, acestea pot rămîne încărcate, dacă deconectarea are loc la valoarea instantanee ridicată a tensiunii.

Autodescărcarea condensatorului făcîndu-se lent, se pot produce accidente. Pentru a elimina această posibilitate este necesară descărcarea rapidă a con-

* Contactul basculant este format dintr-un tub de sticlă cilindric cu mercur în interior, care are două contacte ce se închid, cînd tubul este în poziție orizontală, prin mercurul ce realizează legătura electrică.

densatoarelor, imediat după deconectarea lor. În acest scop se utilizează rezistențe legate în paralel cu condensatoarele.

În general se preferă conexiunea în triunghi a acestora (fig. 10.14), montaj care permite ca la întreruperea uneia din faze să se mențină posibilitatea de descărcare, spre deosebire de conexiunea stea la care faza S nu se mai poate descărca dacă rezistența r_1 s-a întrerupt.

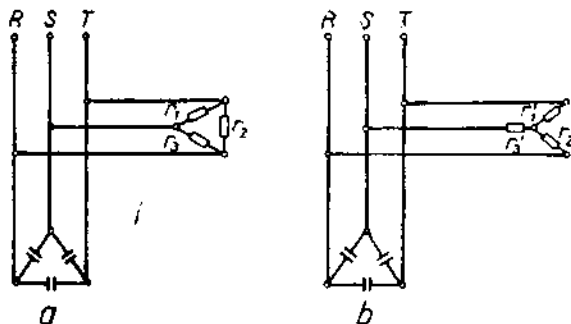


Fig. 10.14. Legarea rezistențelor de descărcare a bateriilor de condensatoare într-o rețea trifază: a — în triunghi (corect); b — în stea (greșit)

În cazul întreruperii la valoarea maximă a tensiunii de fază U_{max} , tensiunea reziduală este dată de relația cunoscută din studiul regimului tranzitoriu al circuitului rC :

$$u_c = U_{max} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (10-36)$$

unde t este timpul, iar T — constanta de timp a circuitului ($T=rC$).

Introducând în circuit, între faze, rezistențe de descărcare r , în funcție de valoarea acestora descărcarea se poate produce mai repede sau mai încet.

Din relația (10-36) se poate explicita rezistența de descărcare necesară, înlocuind $T=rC$. Atunci:

$$r = \frac{t}{C \ln \frac{U_{max}}{U_{ad}}}, \quad (10-37)$$

în care: t este timpul de descărcare (10—20 s); C — capacitatea condensatorului [F]; U_{max} — tensiunea la bornele rezistenței [V]; $U_{ad}=U_c$ — tensiunea de atingere nepericuloasă [V].

Protecția condensatoarelor se face la scurtcircuit și suprasarcină ce apare la șocul de curent tranzitoriu.

Protecția la scurtcircuit se poate realiza prin siguranțe fuzibile sau prin întreruptoare automate, echipate cu relee electromagnetice cu caracteristică independentă de timp (protecție maximală cu acționare instantanee).

Pentru siguranțele fuzibile, relațiile de alegere sînt : — la conectarea directă (fără trepte intermediare) :

$$I_f = 1,8 I_{nc} \quad (10-38)$$

unde I_{nc} este curentul nominal al bateriei ;

— la conectarea în trepte intermediare :

$$I_f = 1,4 I_{nc} \quad (10-39)$$

La întreruptoarele automate, relația de alegere a releelor electromagnetice este :

$$I_{REM} = 4-8 I_{nc} \quad (10-40)$$

10.4.3. CALCULUL TEHNICO-ECONOMIC AL FACTORULUI DE PUTERE OPTIM PENTRU UTILIZAREA MIJLOACELOR ARTIFICIALE DE AMELIORARE*

După cum s-a arătat la subcapitolul 10.3, între valorile extreme ale puterii instalației de compensare (zero sau compensare totală) există o infinitate de posibilități, fiind necesară întocmirea unui calcul tehnico-economic pentru găsirea factorului de putere optim, pentru care suma cheltuielilor de exploatare și investiție este minimă.

În cadrul calculului se compară n variante ($n=5 \dots 10$), pentru care extremele sînt astfel alese :

— prima variantă, pentru factorul de putere natural $\cos \varphi_0$ (fără compensare, adică $Q_c=0$) ;

— ultima variantă, pentru factorul de putere $\cos \varphi=1$ (compensare totală — $Q_c=1$).

Variantele examinate în cadrul calculului diferă prin :

— mărimea surselor de putere reactivă necesare ridicării factorului de putere ;

— puterile reactive și aparente ce urmează a fi absorbite din sistem după montarea sursei de compensare ;

— pierderile de putere și energie activă în rețeaua consumatorului, în instalația de compensare și în sistemul energetic la ore de vîrf ale consumului de putere activă ;

— timpul de pierderi τ [h/an] determinat în funcție de timpul de utilizare a puterii active maxime absorbite de consumator și de factorul de putere corespunzător (fig. 5.C.1. anexa 5) ;

— timpul de utilizare t_c [h/an] a puterii reactive instalate în sursele de compensare ;

— investițiile efective I_{ef} corespunzătoare surselor de putere reactivă ce urmează să se instaleze ;

— investițiile conexe I_m pentru deschiderea de mine, pentru acoperirea pierderilor de putere activă datorită circulației puterii reactive ;

— investițiile conexe I_{CE} în centrale electrice necesare pentru acoperirea pierderilor de putere activă datorite circulației puterii reactive ;

— cheltuielile efective C_{ef} aferente instalației de compensare ;

* Calculul este valabil pentru condensatoarele statice și compensatoare sincrone după /53/.

— cheltuielile anuale suplimentare C_E corespunzătoare energiei active pierdute în sistem și în instalațiile consumatorului datorită transportului energiei reactive.

Variantele examinate au următorii factori comuni:

- putere activă absorbită [kW] la orele de vîrf de consum al consumatorului;
- rezistențele calculate pentru elementele de rețea ale consumatorului prin care are loc transportul energiei reactive;
- timpul de utilizare T al puterii active [h/an].

Cu notațiile de mai sus se vor da relațiile de calcul tehnico-economic.

Dacă se notează cu indicele „ i ” o variantă oarecare cuprinsă între cele două extreme, atunci cheltuielile totale anuale de calcul Z_i , pentru această variantă sînt;

$$Z_i = C_i + \epsilon_n I_i, \quad (10-41)$$

în care: C_i sînt cheltuielile totale anuale de exploatare în varianta i ; I_i — cheltuielile totale de investiție în varianta i ; ϵ_n coeficientul de amortizare pentru ramura energetică ($\epsilon_n = 0,1$).

Calculul investițiilor se face cu relația:

$$I_i = I_{efi} + I_{conexi}, \quad (10-42)$$

unde:

$$I_{conexi} = I_{mi} + I_{CEi}. \quad (10-43)$$

Pentru calculul investițiilor conexe se va urmări anexa 5, în care se arată că investițiile conexe se determină în funcție de pierderile totale de putere activă în orele de vîrf de consum, datorite circulației de putere reactivă și pierderilor totale de energie activă datorite circulației de energie reactivă.

Calculul cheltuielilor anuale se face cu relația:

$$C_i = C_{efi} + C_{Ei}, \quad (10-44)$$

în care cheltuielile efective se stabilesc în funcție de valori medii de consum,

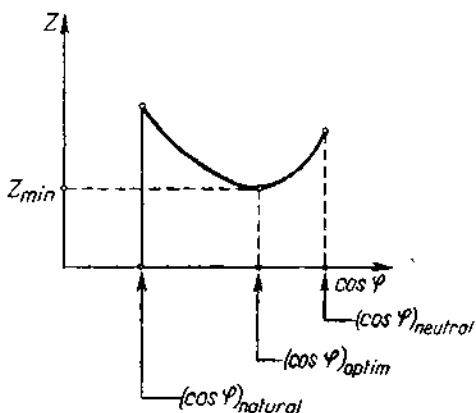


Fig. 10.15. Curba cheltuielilor totale anuale în funcție de factorul de putere, pentru determinarea factorului de putere optim

iar cheltuielile anuale suplimentare, în funcție de pierderea de energie activă datorită transportului de energie reactivă, conform indicațiilor din anexă.

Pe baza celor n valori ale cheltuielilor totale anuale de calcul, corespunzătoare celor n factori de putere, se poate trasa curba $Z = f(\cos \varphi)$, care prezintă un minim (Z_{min}) pentru care corespunde factorul de putere optim ($\cos \varphi_{optim}$) (fig. 10.15). Un exemplu de calcul poate fi urmărit și în /67/.

INSTALAȚII DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ATMOSFERICE (INSTALAȚII DE PARATRĂSNET)

11.1. PRODUCEREA TRĂSNETULUI

Solul planetei împreună cu ionosfera constituie un condensator sferic, în care armăturile sînt scoarța pămîntului și ionosfera, iar dielectricul — spațiul izolator dintre ele.

Pe timp furtunos, datorită mișcărilor de aer, condensării vaporilor în straturile superioare, aerul bogat în vaporii de apă se încarcă cu sarcini electrice de semne contrarii.

În figura 11.1 este arătată formarea norilor încărcăți cu electricitate de sens contrar, prin inducție electrostatică și curenți de aer ascendenți.

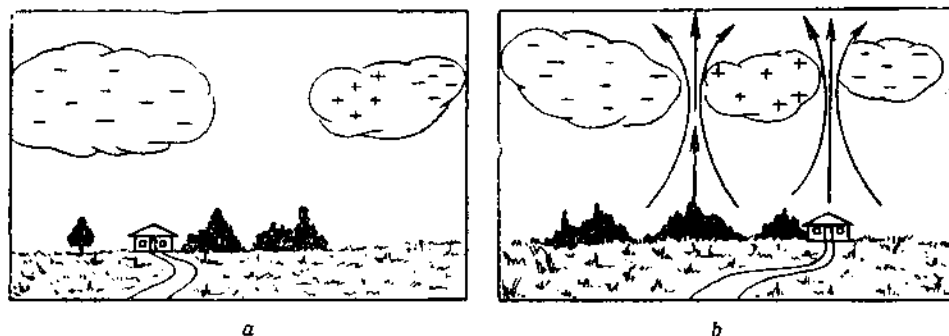


Fig. 11.1. Formarea norilor încărcăți cu electricitate de sens contrar : a — prin inducție electrostatică ; b — prin ruperea norilor de către masele de aer condensate

Separarea sarcinilor electrice produce deformarea cîmpului electric inițial al vremii senine, făcînd să apară condensatoare locale nor-pămînt sau nor-nor.

În acest fel, între nor și pămînt apare un cîmp electric puternic. După atingerea potențialului critic, spațiul nor-pămînt sau nor-nor se ionizează și începe descărcarea electrică (lovitura de trăsnet sau fulger).

Descărcarea se produce în două etape (fig. 11.2). În prima parte a descărcării apare faza denumită lider în trepte, caracterizat printr-un canal slab luminis-

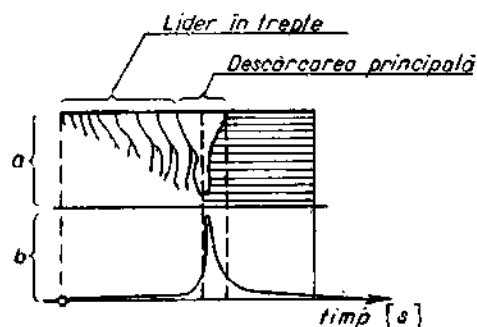


Fig. 11.2. Producerea trăsnetului: a — desfășurarea în timp a descărcării; b — variația curentului în funcție de timp

cent, la curent de 0,2—0,3 kA și o viteză de propagare de 100 km/s. Viteza de propagare și curentul cresc la apropierea de pământ. Dinspre obiectul ce va fi lovit se propagă un lider ascendent, care întâlnește canalul descendent undeva deasupra solului.

A doua parte a descărcării apare după întâlnirea liderului descendent cu cel ascendent, când se produce o intensă neutralizare a sarcinilor în exces, acumulate în canal și pe suprafața solului, procesul fiind însoțit de o puternică iluminare și zgomot

(viteza de descărcare ajunge la 10 000 km/s și curentul maxim la 6—120 kA în zone de șes și până la 230 kA în regiunile de munte).

Frecvența trăsnetelor este diferită pe cuprinsul țării, în funcție de condițiile de relief și climă. Frecvența furtunilor este dată de indicele keraunic (numărul de zile cu furtuni într-o anumită zonă geografică).

Pe baza indicilor keraunici se întocmește harta keraunică a țării, conform căreia este indicată pentru anumite construcții necesitatea prevederii instalațiilor de protecție [52].

În cele ce urmează se tratează problema protejării construcțiilor civile, industriale și similare, împotriva descărcărilor electrice.

Trebuie menționat că o construcție neprotejată sau defectuos protejată poate suferi următoarele efecte:

- incendierea construcțiilor din materiale combustibile;
- degradarea construcțiilor din beton armat sau zidărie datorită temperaturilor ridicate ce apar în canalul descărcării;
- explozia sau incendierea construcțiilor care adăpostesc procese tehnologice ce produc, utilizează sau vehiculează substanțe explozive și inflamabile.

De asemenea, tensiunea de pas în apropierea obiectivelor mici (copaci, construcții izolate înguste), datorită descărcării electrice atmosferice, este suficient de ridicată pentru a putea provoca accidente (pe o rază de circa 10 m).

Pentru protecția construcțiilor împotriva descărcărilor electrice atmosferice trebuie montată o instalație de paratrăsnet, compusă în principiu dintr-un vîrf sau rețea metalică, montată pe — sau peste — acoperișul construcției și legată la pământ. La trecerea unui nor de sarcină negativă, paratrăsnetul fiind înălțat deasupra solului și avînd potențialul pămîntului (0) se va încărca prin inducție electrostatică cu sarcină electrică pozitivă. Ca urmare a micșorării distanței dintre nor și sol (paratrăsnet), în regiunea de instalare a paratrăsnetului intensitatea cîmpului electric din atmosferă crește, favorizînd formarea canalului de descărcare ascendent, care va dirija canalul ionizant descendent, orientîndu-l către paratrăsnet.

11.2. INSTALAȚII DE PARATRĂSNET PENTRU CONSTRUCȚII

În general, o instalație de paratrăsnet ca în figura 11.3, se compune din următoarele elemente: dispozitivul de captare 1, dispozitivul de coborîre 2 și dispozitivul de disipare a energiei electrice la pămînt (priza de pămînt) 3.

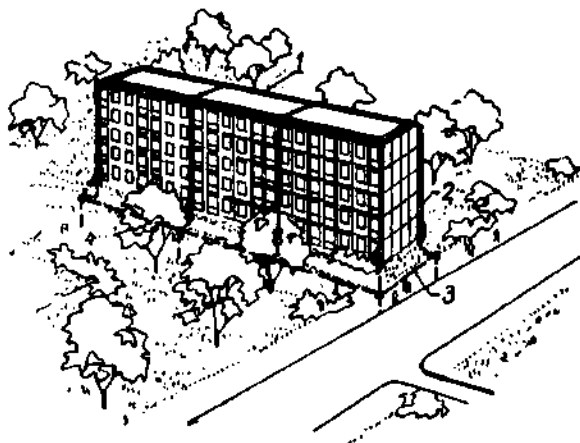


Fig. 11.3. Ansamblul unei instalații de paratrăsnet

11.2.1. DISPOZITIVE DE CAPTARE

Dispozitivele de captare se amplasează, în general, pe - sau peste acoperișul construcției, avînd rolul de a capta descărcarea electrică.

Dispozitivele de captare se pot clasifica din punct de vedere constructiv în : dispozitiv de captare vertical ; dispozitiv de captare orizontal ; dispozitiv de captare de tip rețea (plasă) ; dispozitiv de captare din elementele metalice ale acoperișului.

Elementele de construcție sau anexe, care au oarecare înălțime față de planul acoperișului (coșuri, lucarne, reclame etc.) pot capta descărcarea electrică atmosferică. Din acest motiv, fie că sînt metalice sau nu, ele trebuie legate la dispozitivul de captare existent pe acoperiș.

11.2.1.1. Dispozitiv de captare vertical (tijă). Dispozitivul de captare vertical este realizat dintr-o tijă ascuțită metalică, care prin forma sa (vîrf ascuțit) mărește intensitatea locală a cîmpului electric, favorizînd formarea canalului de descărcare. Experimental s-a determinat înălțimea H la care se resimte influența deformării cîmpului la suprafața pămîntului, denumită *zonă de orientare*.

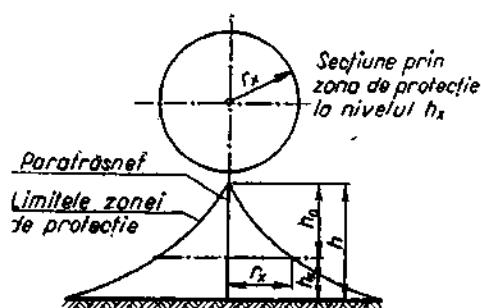


Fig. 11.4. Zona de protecție a unui paratrăsnet vertical

Se definește coeficientul de protecție :

$$K_x = \frac{r_x}{h - h_x}, \quad (11-2)$$

unde r_x este raza zonei protejate ; h_x — înălțimea corespunzătoare zonei considerate.

Din relația (11-2) rezultă :

$$r_x = K_x (h - h_x). \quad (11-3)$$

Pentru a calcula pe r_x este necesară cunoașterea lui K_x , care se poate determina cu relațiile empirice :

$$K_x = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} \quad (h < 30 \text{ m}) \quad (11-4)$$

și :

$$K_x = \frac{1,6 \sqrt{30}}{\left(1 + \frac{h_x}{h}\right) \sqrt{h}} \quad (h > 30 \text{ m}). \quad (11-5)$$

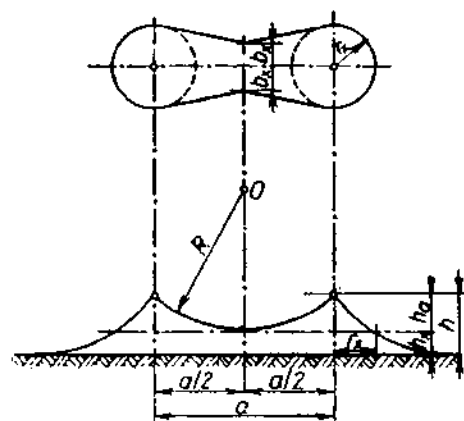


Fig. 11.5. Zona de protecție a două paratrăsnete verticale

Astfel se indică :

$$H = (10 \dots 20) h, \quad (11-1)$$

unde h este înălțimea paratrăsnetului, limita maximală a lui H fiind 600 m.

De asemenea, s-a determinat pe modele zona de protecție a unui paratrăsnet vertical, reprezentînd spațiul cuprins în jurul paratrăsnetului în care probabilitatea loviturii directe este de 10^{-3} . Zona de protecție este delimitată de suprafața unui corp de revoluție (fig. 11.4).

Dacă se montează două paratrăsnete verticale, atunci zonele lor de protecție se suprapun parțial (fig. 11.5).

Pentru a determina zona de protecție se utilizează nomogramele din figura 11.6.

Dacă se urmărește determinarea zonei de protecție pentru trei sau patru paratrăsnete verticale, atunci

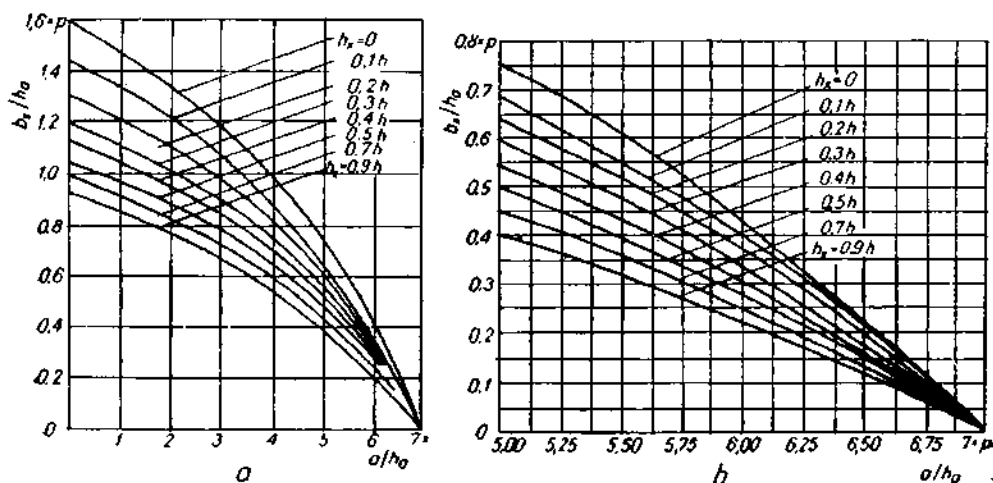


Fig. 11.6. Nomograme pentru determinarea zonei de protecție :

a se determină astfel : pentru $h < 30$ m, $a = 7h_a$;

pentru $h > 30$ m, $a = 7ph_a$;

d se determină cu relația : $d = h - \frac{a}{7p}$;

p se determină cu relația : $p = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$;

fig. 11.6, a se utilizează dacă $\frac{a}{h_a} = (0 \dots 7) \frac{5.5}{\sqrt{h}}$;

fig. 11.6, b se utilizează dacă $\frac{a}{h_a} = (5 \dots 7) \frac{5.5}{\sqrt{h}}$.

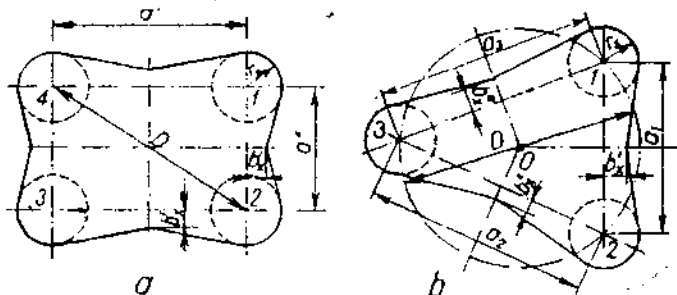
zonele se calculează în exterior ca pentru un singur paratrăsnet, iar condiția ca întreaga suprafață interioară să fie protejată este :

$$D \leq 8(h - h_x)p, \quad (11-3)$$

în care D are semnificația din figura 11.7, iar :

$$p = \frac{5.5}{\sqrt{h}}. \quad (11-7)$$

Fig. 11.7. Zona de protecție pentru trei și patru paratrăsnete verticale :
 a — patru paratrăsnete ;
 b — trei paratrăsnete



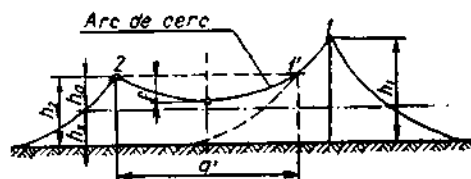


Fig. 11.8. Zona de protecție pentru paratrăsnete verticale de înălțimi diferite

înălțime h_2 , pentru care se trasează zona de protecție în modul obișnuit,

Dispozitivele de captare de tip tijă sînt utilizate mai rar și numai la construcțiile care prezintă turle, turnuri, foșoare sau chiar coșuri înalte montate pe construcții.

Elementele metalice care fac parte din construcție sau decorația construcției pot fi folosite ca tije de captare (tije portdrapel, elemente decorative, cruci etc.).

Dacă dispozitivul de tip tijă nu asigură zona de protecție pentru întreaga construcție mai puțin înaltă, atunci el se completează cu un dispozitiv de captare suplimentar (rețea sau învelitoare de tablă).

11.2.1.2. Dispozitivul de captare de tip orizontal este format din conductoare amplasate orizontal față de obiectivul ce-l protejează. Fiind întinse și neavînd vîrfuri au o zonă mai restrînsă de protecție caracterizată printr-un coeficient de protecție :

$$K_x = \frac{0,8}{1 + \frac{h_x}{h}} \quad (11-8)$$

pentru $h \leq 30$ m. Se observă valoarea mai mică a coeficientului de protecție a dispozitivului orizontal, în raport cu cel vertical (rel.11-4).

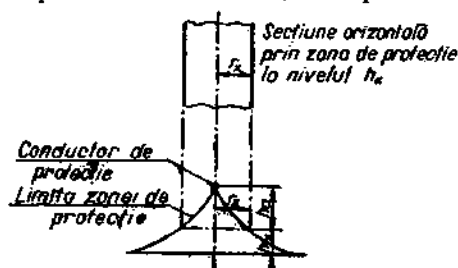


Fig. 11.9. Zona de protecție a unui paratrăsnet orizontal

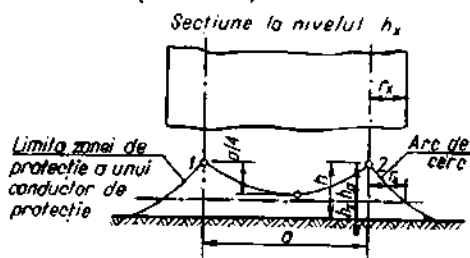


Fig. 11.10. Zona de protecție a două paratrăsnete orizontale

În figura 11.9 este redată zona de protecție a unui paratrăsnet orizontal, iar în figura 11.10 este redată zona de protecție a două paratrăsnete orizontale.

Zona de protecție exterioară se determină analog ca pentru un singur paratrăsnet, iar pentru interior trebuie respectată relația :

$$\frac{a}{4} \leq (h - h_x). \quad (11-9)$$

Din ultimele cercetări pe modele s-a constatat că generatoarea corpului de revoluție, ce formează linia de protecție, se poate asimila cu o linie frântă. Frântura se produce la o înălțime egală cu $0,2h$ față de vîrf. În figura 11.11, *a* este dată o astfel de zonă de protecție pentru paratrăsnetul de tip tijă.

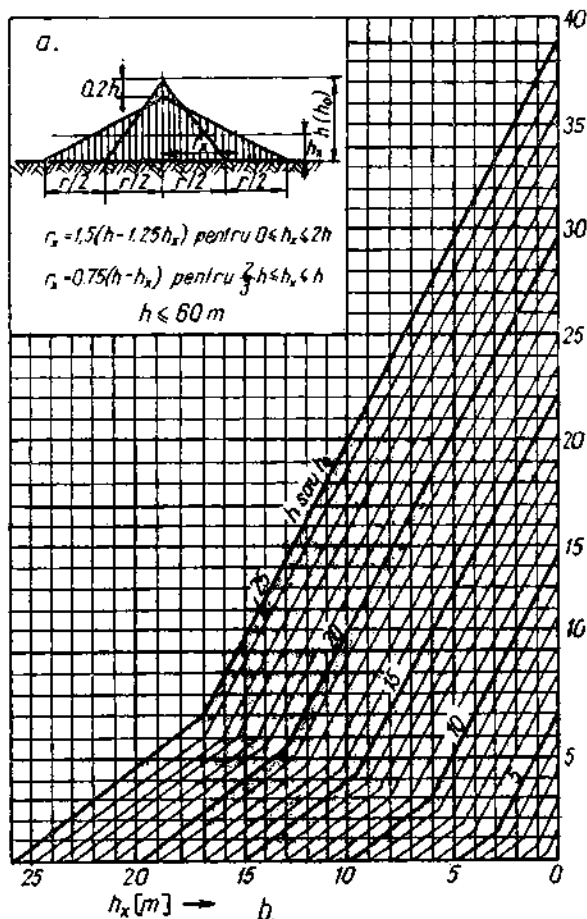


Fig. 11.11. Zona de protecție pentru paratrăsnet simplu de tip tijă și pentru paratrăsnet dublu cu conductor de protecție între tije: *a* — zona de protecție; *b* — nomograma pentru determinarea zonei

În figura 11.11, *b* este dată o nomogramă pentru determinarea zonei de protecție la paratrăsnete simple de tip tijă sau de tip orizontal cu un conductor, iar în figurile 11.12, *a* și *b* — nomogramele pentru determinarea zonei de protecție a paratrăsnetelor duble.

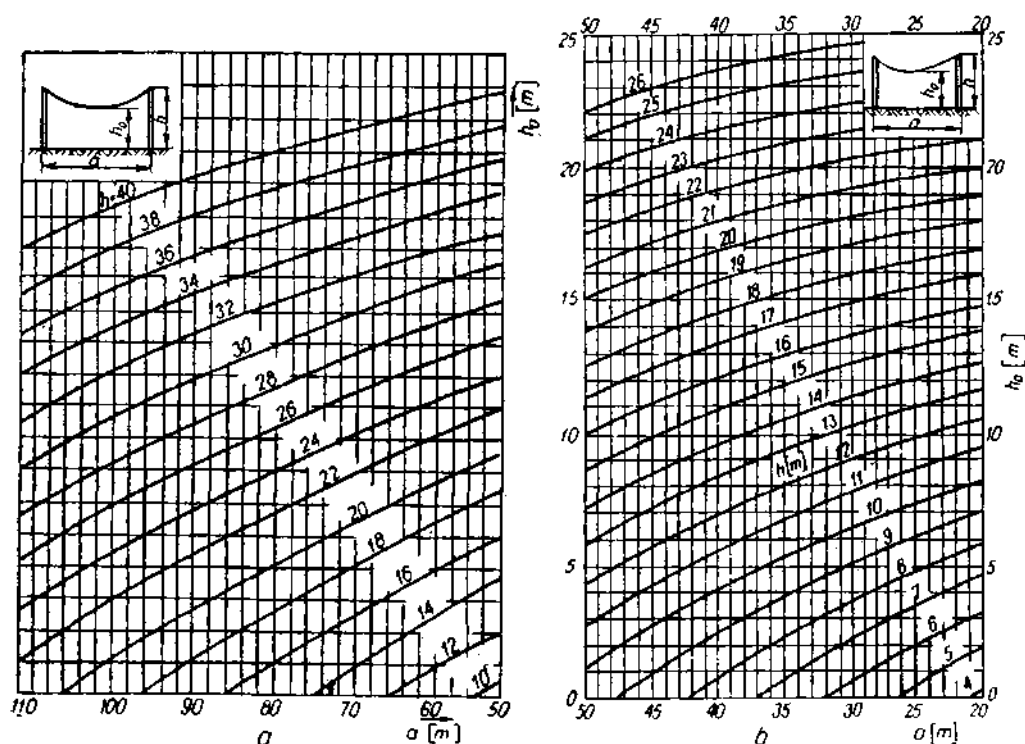


Fig. 11.12. Nomograme pentru determinarea zonelor de protecție pentru paratrăsnete duble cu conductor de protecție orizontal: fig. 11.12, a — pentru distanțe $a=20 \dots 50$ m; fig. 11.12, b — pentru distanțe $a=50 \dots 110$ m

Dispozitivele de captare de tip orizontal montate independent de construcție sînt utilizate numai în situații speciale, pentru construcții cu pericol mărit de incendiu sau explozie și în care considerentele speciale de protecție impun utilizarea unei asemenea soluții.

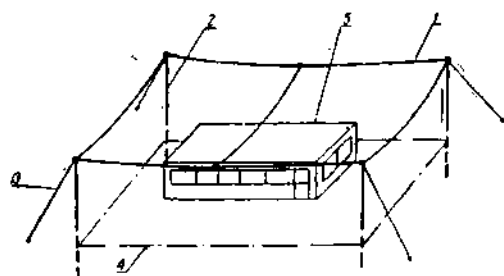


Fig. 11.13. Dispozitiv de captare orizontal independent de construcție.

În figura 11.13 este reprezentată o instalație de paratrăsnet independentă, cuprinzînd dispozitivul de captare 1, susținut de dispozitivul de coborîre din stîlpii metalici 2 și priza de pămînt 4. Ancorele 3 au rolul de a asigura stabilitatea mecanică a instalației. Dimensiunile instalației se determină în așa fel încît întreaga construcție 5 să intre în zona de

protecție. În orice caz se păstrează o distanță minimă de 3 m față de construcție. O astfel de instalație poate fi prevăzută și pentru un ansamblu de construcții.

11.2.1.3. **Dispozitive de captare de tip rețea (plasă)** sînt derivate din cele de tip orizontal. Rețeaua (plasa) se montează în mod obișnuit direct pe acoperișul sau terasa construcțiilor civile sau industriale.

Pentru ca rețeaua să protejeze în mod sigur și uniform construcția este necesar ca, în funcție de dimensiunile în plan ale acoperișului, de diferența de nivel între coamă și planul conturului, să se aleagă soluția indicată de considerente

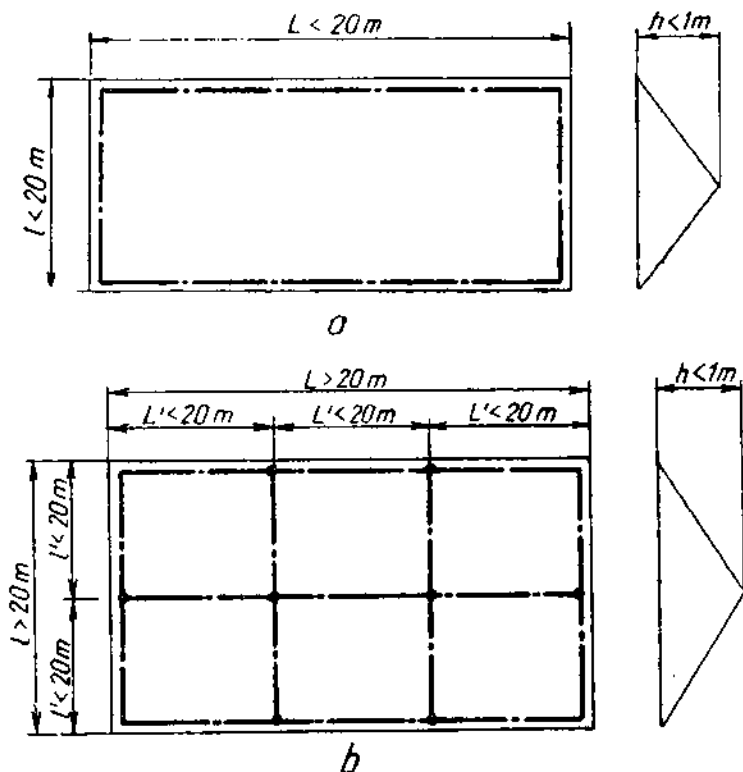


Fig. 11.14. Dispozitiv de captare de tip plasă pentru acoperișuri cu pantă mică sau de tip terasă ($h < 1\text{ m}$); a — acoperișuri înguste ($L < 20\text{ m}$); b — acoperișuri late ($L > 20\text{ m}$)

experimentale, ținînd seama ca fiecare punct al construcției să fie la cel mult 10 m de rețeaua de captare, pentru a se înscrie în zona de protecție.

În figurile ce urmează sînt prezentate diverse cazuri uzuale. În figura 11.14, a se văd elementele constructive ale dispozitivului de captare pentru acoperișuri cu panta redusă sau de tip terasă. Se observă că la lățimi reduse sub 20 m este suficientă o rețea pe contur, dacă înălțimea coamei nu este prea mare ($h < 1\text{ m}$).

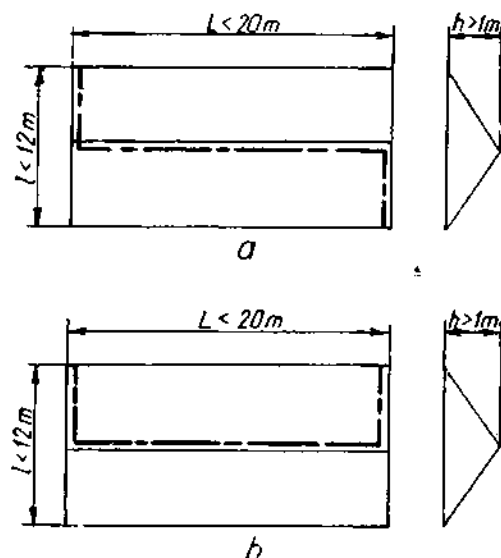


Fig. 11.15. Dispozitiv de captare de tip plasă pentru acoperișuri cu pantă mare ($h > 1\text{ m}$), dar îngustă: a — acoperișuri scurte ($L < 20\text{ m}$); b — acoperișuri lungi ($L > 20\text{ m}$)

sită o rețea mai densă pentru realizarea zonei de protecție (fig. 11.18).

La acoperișurile late și lungi cu pantă mare ($h > 1\text{ m}$; $\alpha > 30^\circ$), zona de protecție se poate realiza prin dispozitiv montat pe coamă, cu legături transversale la cel mult 20 m la dispozitivul de coborîre (fig. 11.19).

Acoperișurile late și lungi, cu pantă mică ($h > 1\text{ m}$; $\alpha < 30^\circ$) se rezolvă ca și terasele de același tip (v. fig. 11.14, b).

Acoperișurile construcțiilor industriale de tip șed necesită o rețea cu densitatea obișnuită, distanțele maxime fiind cele indicate în figura 11.20.

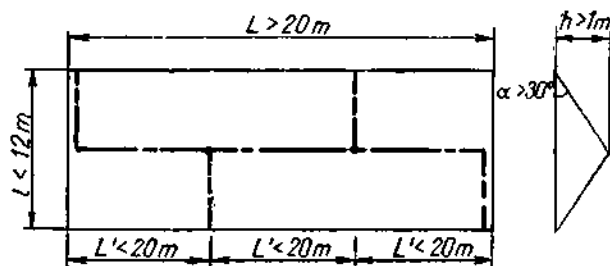


Fig. 11.16. Dispozitiv de captare de tip plasă pentru acoperișuri înguste și foarte lungi ($L > 20\text{ m}$)

În figura 11.14, b este dat cazul acoperișurilor cu lățimi mari și $h < 1\text{ m}$. Acoperișurile la care înălțimea coamei este mare, necesită o altă rezolvare. La acoperișurile înguste ($l < 12\text{ m}$) dispozitivul de captare se poate rezolva cu conductorul montat pe muchie și racordat la dispozitivul de captare în U sau Z (fig. 11.15).

Acoperișurile înguste și lungi ca în figura 11.16 se caracterizează prin dispozitiv montat pe coamă, cu legături transversale la cel mult 20 m la dispozitivul de coborîre.

Acoperișurile late și scurte, cu pantă mare ($h > 1\text{ m}$ și $\alpha > 30^\circ$) se rezolvă ca în figura 11.17, cu un dispozitiv în T care să poată acoperi întreaga suprafață.

Acoperișurile late și scurte, cu pantă mică ($h > 1$; $\alpha < 30^\circ$) necesită o rețea mai densă pentru realizarea zonei de protecție (fig. 11.18).

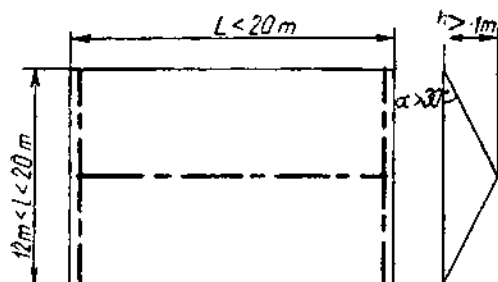


Fig. 11.17. Dispozitiv de captare de tip plasă pentru acoperișuri late și scurte cu pantă mare ($h > 1$ m, $\alpha > 30^\circ$, $L < 20$ m)

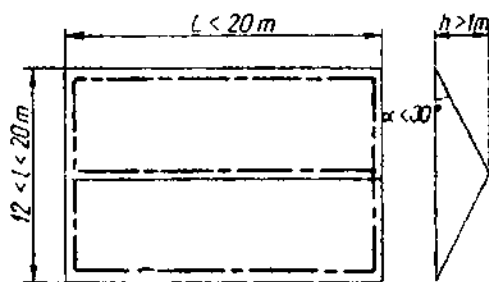


Fig. 11.18. Dispozitiv de captare de tip plasă pentru acoperișuri late și scurte cu pantă mică ($h > 1$ m, $\alpha < 30^\circ$, $L < 20$ m)

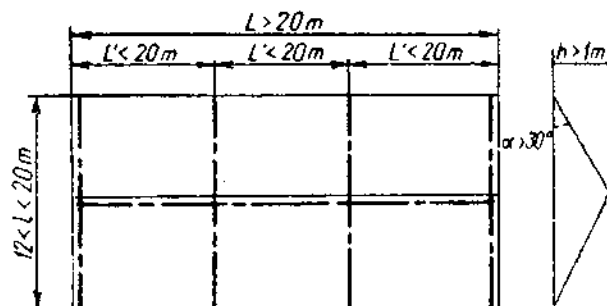


Fig. 11.19. Dispozitiv de captare de tip plasă pentru acoperișuri late, lungi, cu pantă mare ($h > 1$ m, $\alpha > 30^\circ$, $L > 20$ m)

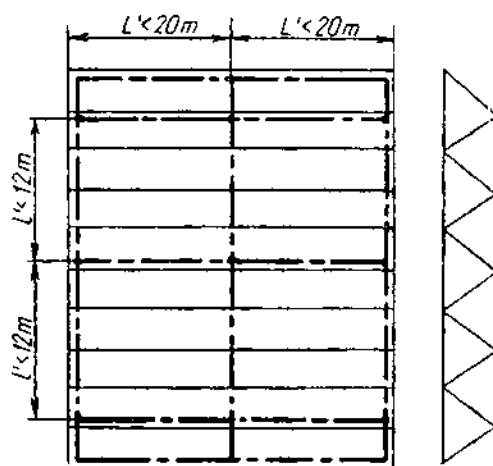


Fig. 11.20. Dispozitiv de captare de tip plasă pentru acoperișuri cu șed

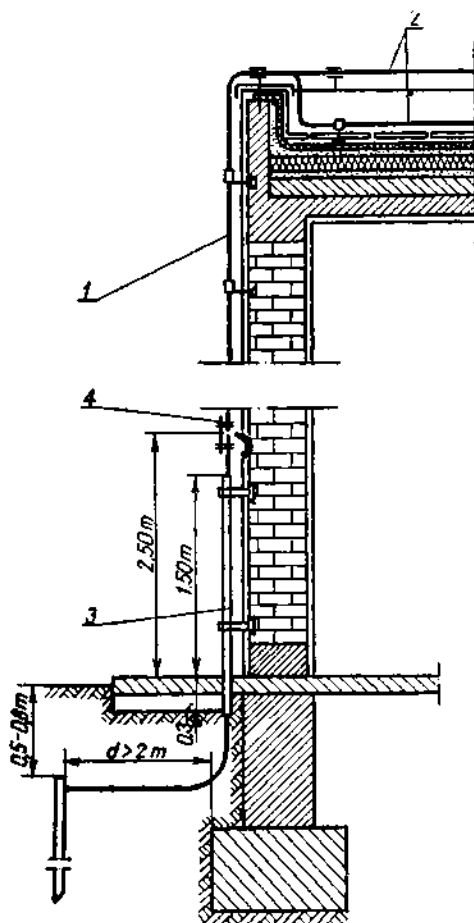


Fig. 11.12. Detaliu asupra legăturii dintre dispozitivul de coborire și priza de pământ

11.2.1.4. Dispozitive de captare din elementele metalice ale acoperișurilor. Elementele metalice ale acoperișurilor ca: învelitoare de tablă, jgheburile, coamele din tablă, cornișele metalice, balustradele, dacă îndeplinesc anumite condiții de grosime (0,5 mm) și secțiune pentru elementele liniare (100 mm²), precum și dacă este asigurată continuitatea electrică prin lipirea (sudarea) diverselor tronsoane, pot fi utilizate ca dispozitive de captare sau ca elemente ale dispozitivului.

Această soluție prezintă avantaje economice, cheltuielile de investiție fiind inexistente sau foarte mici, dezavantajul fiind însă reducerea siguranței în funcționare, datorită posibilității de întrerupere a continuității electrice prin corodarea legăturilor de continuitate.

Dimensiunile conductoarelor de captare sau coborire se aleg după /52/ având în vedere modul de montaj (exteriorul construcției: OL 38 cu secțiunea 50 mm² și grosime peste 2,5 mm; interiorul construcției: OL 38 cu Ø 5 mm). În cazul unei coboriri unice, pentru siguranța în exploatare, secțiunile se dublează. Pentru protejare împotriva coroziunii, conductoarele montate în exterior trebuie să fie zincate, iar cele din interior montate îngropat se vopsesc.

11.2.2. DISPOZITIVE DE COBORIRE

Dispozitivul de coborire are rolul de a asigura canalizarea energiei electrice captate la priza de pământ.

Dispozitivele de coborire se pot clasifica astfel:

- dispozitive de coborire independente de construcție;

— dispozitive de coborîre ce fac parte din construcție, dar pot fi folosite și ca elemente de coborîre (schelet metalic al construcțiilor metalice, armătura elementelor de rezistență de beton armat, conductele de apă, scări de incendiu, burlane).

11.2.2.1. Dispozitive de coborîre independente de construcție. Aceste dispozitive se execută din oțel bandă sau rotund. Numărul conductoarelor de coborîre este dat pe bază experimentală în funcție de perimetrul, înălțimea, lățimea și lungimea construcției.

În general, conductoarele de coborîre continuă conductoarele dispozitivului de captare (sînt în prelungirea lor), numărul minim de conductoare fiind indicat în /52/. În principiu, este necesară cel puțin o coborîre la 20 m distanță măsurată pe perimetru, iar la lățimi peste 12 m — coborîri pe ambele laturi ale construcției.

Pentru a putea fi verificate în exploatare din punct de vedere funcțional, conductoarele se montează de preferință aparent. Dacă cerințele arhitecturale o cer, ele se pot monta și îngropat, însă în proporție mai mică de 50%.

Pozarea conductoarelor se face prin exteriorul construcției. În cazul în care aceasta nu este posibil, se pot monta și în interior, dar numai în construcțiile de beton sau zidărie, evitîndu-se încăperile periculoase din punctul de vedere al incendiului sau al exploziei.

În figura 11.21 este reprezentat un conductor de coborîre montat aparent, care face legătura între dispozitivul de captare 2 de pe un acoperiș de tip terasă și priza de pămînt. Pentru protejarea conductorului de coborîre 1, pe porțiunea accesibilă loviturilor (1,5 m de la nivelul trotuarului), se montează un element de protecție din oțel profilat sau tablă de oțel 3. În scopul asigurării posibilității de măsurare a rezistenței de trecere a prizei de pămînt, se montează o piesă de separație 4 pentru a putea conecta un aparat de măsură (v. cap. 12). În figura 11.22 se dau două detalii de montaj pentru piese de separație.

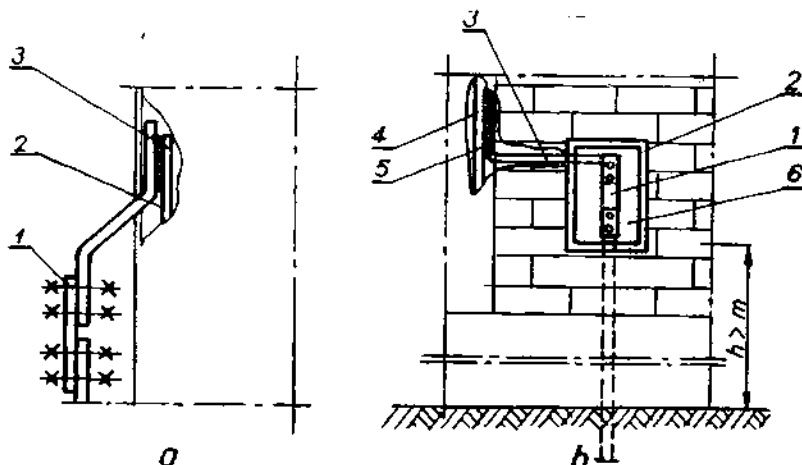


Fig. 11.22. Montarea pieselor de separație la coborîri din armătură: a — montaj aparent: 1 — piese de separație; 2 — armătură; 3 — sudură; b — montaj îngropat: 1 — piesă de separație; 2 — ramă cu ușă metalică pentru închiderea firidei, desenată cu ușa deschisă; 3 — legătura către armătură; 4 — armătură; 5 — sudură; 6 — nișă

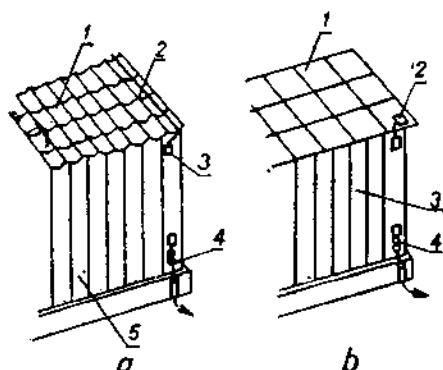


Fig. 11.23. Utilizarea pereților metalici pentru coborîri: a — acoperiș izolant: 1 — acoperiș; 2 — conductor de captare; 3 — piesă de legătură electrică; 4 — piesă de separație; 5 — perete metalic. b — acoperiș metalic: 1 — acoperiș; 2 — piesă de legătură; 3 — perete metalic; 4 — piesă de separație

11.2.2.2. Dispozitivele de coborîre dependente de construcție folosesc elemente componente ale construcției. Astfel se pot utiliza drept conductoare principale de coborîre pereții metalici ai construcțiilor (fig. 11.23), armătura metalică a stîlpilor de beton armat sau a altor elemente de rezistență, dacă se realizează o continuitate electrică prin sudură (fig. 11.24), conducte metalice, cu excepția celor care vehiculează fluide inflamabile etc. (v. și /52/).

11.2.3. DISPOZITIVUL DE DISIPARE A ENERGIEI ELECTRICE LA PĂMÎNT (PRIZA DE PĂMÎNT).

Priza de pămînt disipează în pămînt energia primită de dispozitivul de captare și transmisă prin dispozitivul de coborîre.

Realizarea constructivă a prizei de pămînt cît și calculul acesteia a fost arătată detaliat în capitolul 3.

Rezistențele admise pentru prizele de pămînt sînt de 10 Ω pentru prizele artificiale și de 5 Ω pentru cele naturale.

Din motive de simplificare tehnice și economice, prizele de pămînt se pot folosi în comun pentru instalația de paratrăsnet și pentru alte instalații

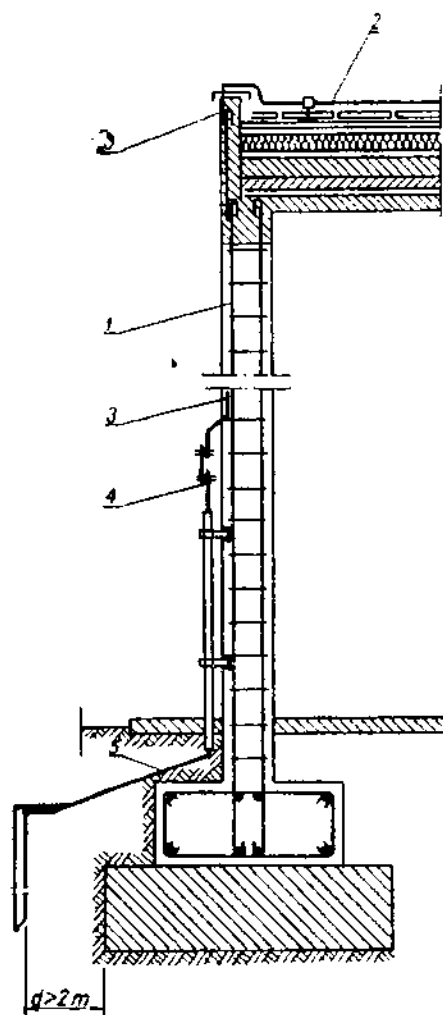


Fig. 11.24. Utilizarea armăturii stîlpilor pentru coborîri: 1 — armătura; 2 — dispozitivul de captare; 3 — sudură; 4 — piesă de separație; 5 — legătura la priza de pămînt

(protecția instalațiilor electrice de joasă tensiune, instalația de protecție pentru firme luminoase, instalația de protecție pentru aparate medicale etc.), cu condiția ca rezistența prizei să fie sub 1Ω și conductoarele de legare a fiecărui tip de instalație la priza la pământ să fie separate, în scopul evitării transmiterii de tensiuni periculoase instalației de protecție în caz de defect.

La priza de pământ pentru paratrăsnet se leagă atât prizele de pământ cu alte destinații din apropiere (sub 20 m), dacă considerentele de protecție o permit (v. cap. 12 și 7), cât și țevile de apă, armăturile cablurilor, șinele, care sînt la mai puțin de 2 m de priza de pământ.

Dacă forma construcției sau alte considerente de amplasament împiedică realizarea prizelor comune, atunci se utilizează prize separate în condițiile indicate în norme /52, 58/, dar care nu se montează sub spațiile de circulație aglomerate, pentru a nu provoca tensiuni de pas periculoase.

11.24. CONSIDERENTE SPECIALE ASUPRA ANSAMBLULUI INSTALAȚIEI DE PARATRĂSNET

În figura 11.25 este dat planul unei instalații de paratrăsnet cuprinzînd dispozitivele de captare, coborîre și prize de pământ.

La acoperișul denivelat al construcției montarea dispozitivului de captare se face și pe corpul de clădire mai puțin înalt, în scopul protejării uniforme a întregii construcții. Dispozitivul de captare și coborîrile trebuie protejate împotriva coroziunii obișnuite prin vopsire cu vopsea de ulei pentru exterior, iar în zonele cu degajări corosive — cu vopsea anticorrosivă.

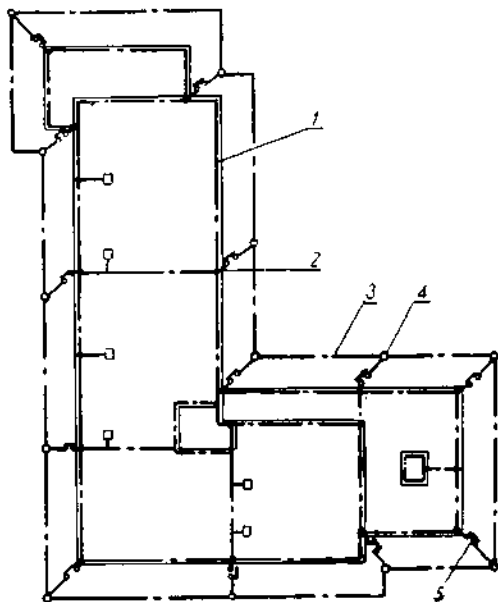
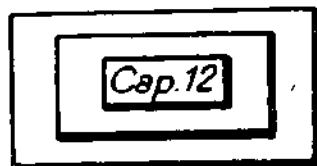


Fig. 11.25. Ansamblul unei instalații de paratrăsnet: 1 — dispozitivul de captare care îndeplinește toate condițiile mai înainte arătate, acoperind și denivelările de pe acoperiș (coșuri, casă, ascensor, cameră vas expansiune etc.); 2 — dispozitivul de coborîre; 3 — priza de pământ orizontală; 4 — priza de pământ verticală; 5 — piese de separație

11.3. CONSTRUCȚIILE CE SE PREVĂD CU INSTALAȚII DE PARATRĂSNET

Din considerente tehnice și economice și din analiza statistică a probabilității lovirii construcțiilor de către trăsnet, instalațiile de paratrăsnet se prevăd numai la anumite obiective care prezintă pericol prin urmările accidentelor. Asemenea construcții sînt următoarele :

1. clădirile ce adăpostesc aglomerări de persoane (teatre, cinematografe, săli de concert, sport, cămine culturale, biserici, cu o capacitate mai mare de 400 persoane, restaurante, magazine cu suprafață de servire mai mare de 1 000 m²) ;
2. școli, grădinițe de copii cu mai mult de zece săli ;
3. spitale, sanatorii, cu o capacitate mai mare de 75 paturi ;
4. hoteluri, cămine, cazărmi cu o capacitate mai mare de 40 paturi ;
5. gări (auto sau tren) ;
6. clădiri care reprezintă sau adăpostesc valori importante (muzee, expoziții permanente, monumente istorice, arhitectură) ;
7. clădiri de locuit, hoteluri, cămine, cu mai mult de 12 niveluri ;
8. clădiri ce reprezintă o importanță deosebită pentru economia națională (centralele de telecomunicații, centralele electrice, dispeceratele rețelei energetice etc.) ;
9. clădiri și instalații tehnologice cu pericol ridicat de incendiu ;
10. clădiri cu pericol de incendiu în care se depozitează sau se prelucrează materiale combustibile și care sînt amplasate în zone cu frecvență medie anuală a furtunilor mai mare de 30 furtuni pe an ;
11. construcții amplasate izolat față de clădiri sau plantații înconjurătoare într-o zonă cu frecvență anuală a furtunilor de peste 30 furtuni pe an, cabane sau similare cu o înălțime de peste 10 m ;
12. grajduri de animale mari de rasă, indiferent de capacitate, grajduri pentru animale mari cu peste 100 capete în zone cu frecvență anuală a furtunilor de peste 30 furtuni pe an și cu peste 200 capete în zone cu frecvență anuală a furtunilor sub 30 furtuni pe an ;
13. în alte cazuri speciale unde considerente privind importanța construcției o cer.



PROTECȚIA ÎMPOTRIVA TENSIUNILOR ACCIDENTALE

12.1 GENERALITĂȚI

Dacă între două puncte ale corpului omenesc se aplică o diferență de potențial, prin corp trece un curent electric, care poate produce îmbolnăvirea sau moartea. Pentru prevenirea accidentelor de această natură este necesar ca persoanele care lucrează în instalații electrice sau instalații care au și părți electrice să cunoască regulile care trebuie aplicate pentru a înlătura pericolul de accidentare; de asemenea, aceste instalații sînt prevăzute cu elemente de protecție împotriva tensiunilor accidentale, care să nu permită aplicarea unor tensiuni periculoase asupra corpului omenesc în cazul defectării acestora.

Corpul omului poate ajunge sub tensiune electrică prin atingerea elementelor sub tensiune. După modul în care au loc, atingerile sînt de două categorii: *atingeri directe* și *atingeri indirecte*.

Atingerile directe sînt acelea care survin atunci cînd o parte a corpului omului vine în contact cu elemente ale rețelei care în regim normal de funcționare sînt sub tensiune.

Atingerile indirecte au loc atunci cînd corpul omenesc vine în contact cu piese care în mod normal nu se găsesc sub tensiune, dar care au ajuns sub tensiune în urma unor defecte sau a altor cauze accidentale. Exemple: carcasele motoarelor electrice și toate piesele legate metalic la acestea; elemente în care apare tensiune indusă datorită unor influențe electromagnetice sau electrostatice (conducte de apă, gaz),

Tensiunea la care este supus omul în cazurile atingerilor indirecte se numește *tensiune de atingere*. Tensiunea aplicată unui om care atinge două puncte de pe sol din apropierea unei scurgeri de curent în pămînt (priză de pămînt sau conductor al unei linii căzut pe pămînt) se numește *tensiune de pas* (v. fig. 3.68).

12.1.1. EFECTELE CURENTULUI ELECTRIC ASUPRA CORPULUI OMENESC

Electrocutările sau șocurile electrice afectează cel mai grav inima și sistemul nervos. Sub acțiunea curentului electric fibrele mușchilor inimii se contractă și se destind foarte rapid și dezordonat. Fenomenul, denumit *fibrilație*, este echivalent cu oprirea funcționării inimii. Pe de altă parte, acțiunea curentului elec-

tric asupra sistemului nervos se manifestă mai ales prin afectarea funcționării respirației, până la oprirea ei.

Arsurile electrice se datoresc căldurii dezvoltate prin trecerea curentului electric prin corpul omului sau prin acțiunea arcului electric la suprafața pielii.

Gravitatea efectului curentului electric asupra corpului omenesc depinde de mai mulți factori.

a. Intensitatea curentului. Se poate spune că limita maximă a curentului nepericulos are valoarea de 10 mA în curent alternativ și de 50 mA în curent continuu. Pentru curent alternativ între 10 și 50 mA, omul nu se poate desprinde de elementele sub tensiune din cauza convulsiilor mușchilor; pericolul, în acest caz, constă în faptul că, dacă omul nu este eliberat într-un timp suficient de scurt, rezistența electrică a corpului său scade continuu, ceea ce duce la creșterea curentului; un curent cu intensitate de peste 50 mA conduce la moartea accidentatului prin electrocutare. Se consideră însă că accidentul mortal poate avea loc numai dacă durata de trecere a curentului depășește 0,1—0,2 secunde.

Curenții cu intensitate peste 5 A produc accidente grave datorită în special arsurilor și nu electrocutărilor.

b. Calea de trecere a curentului prin corp. Gravitatea pericolului de electrocutare este mai mare dacă în drumul curentului se găsesc inima sau locuri de mare sensibilitate nervoasă.

c. Durata trecerii curentului prin corp. Efectul electrocutării este mai grav dacă timpul de trecere a curentului prin trupul accidentatului este mai mare. De aceea, cu cât intensitatea curentului este mai mare, cu atât timpul de trecere trebuie să fie mai scurt, pentru a se evita fibrilația inimii. De exemplu, cercetările au arătat că pentru un curent de 250 mA fibrilația inimii începe dacă timpul de trecere depășește 0,2 s; la curentul de 500 mA, fibrilația începe după depășirea timpului de 0,1 s.

d. Frecvența curentului. Curentul continuu a fost considerat întotdeauna mai puțin periculos decât cel alternativ. Totuși, accidente se produc și în cazul instalațiilor de curent continuu, iar diferența sub acest aspect între curentul continuu și cel alternativ se micșorează pe măsură ce crește tensiunea de atingere. Pentru tensiuni peste 450 V, instalațiile de curent continuu prezintă același grad de pericol ca și cele de curent alternativ.

e. Factori de natură personală, cum sînt starea fizică, gradul de atenție a omului în momentul atingerii etc.

12.1.2. TENSIUNI DE ATINGERE ADMISIBILE

Lăsînd la o parte elementele care nu pot fi influențate (tensiunea, frecvența) ale instalației sau cele care nu pot fi prevăzute (factorii de natură personală, drumul curentului), se ajunge la concluzia că gravitatea urmărilor unui accident este determinată de intensitatea curentului care străbate corpul omenesc I_h și de durata trecerii acestuia prin corp, t .

Intensitatea I_h este dată de relația :

$$I_h = \frac{U}{Z_h}, \quad (12-1)$$

unde U este tensiunea aplicată între două puncte ale corpului omenesc, iar Z_h — impedanța omului.

Din motive practice, în tehnica securității la instalațiile electrice, este mai indicat să se determine valori limită pentru tensiunea aplicată corpului omenesc și nu pentru curentul care trece. Este mult mai ușor să se conceapă și să se dimensioneze o protecție pe baza unei tensiuni care poate fi limitată în mod nemijlocit decât pe baza curentului, ce nu poate fi influențat în mod direct pentru că depinde și de impedanța corpului omenesc.

Relația (12—1) permite determinarea, în principiu, a tensiunii de atingere admisibile sub forma :

$$U = I_h Z_h, \quad (12-2)$$

dacă se cunoaște Z_h , iar prin I_h se înțelege intensitatea maximă admisibilă prin corpul omenesc. Impedanța corpului omenesc este însă o mărime nesigură, întrucât ea are valori diferite la unul și același individ, în funcție de anumite împrejurări.

În majoritatea cazurilor corpul omenesc se poate asimila cu o rezistență constantă, a cărei valoare este de 1 000 Ω în cazul atingerilor directe și de 3 000 Ω în cazul atingerilor indirecte. În unele cazuri, cînd are loc coincidența mai multor factori nefavorabili (încăperi cu umiditate de peste 75%, temperatura peste 30°C, mase metalice care pot fi puse sub tensiune etc.), se vor lua în considerare valori și mai acoperitoare.

Instalațiile electrice se clasifică din punctul de vedere al tehnicii securității în instalații de joasă și de înaltă tensiune. Instalațiile de joasă tensiune sînt cele pentru care tensiunea între pămînt și elementele rețelei nu depășește 250 V în regim normal sau de avarie. Considerînd $Z_h = R_h = 1\,000\ \Omega$, curentul care trece prin corpul unui om care atinge simultan pămîntul și un element sub tensiune al unei rețele de joasă tensiune este mai mic de $250\text{ V}/1\,000\ \Omega = 0,25\text{ A}$, deci rețelele de joasă tensiune trebuie (v. subcap. 12.1, c) să asigure o durată de trecere a curentului prin corpul omenesc sub 0,2 s. În mod analog, instalațiile de înaltă tensiune, la care tensiunea între pămînt și elementele rețelei depășește 250 V, dar este sub 500 V, trebuie să asigure o durată de trecere a curentului sub 0,1 s.

De aceea, rețelele care au tensiunea de linie sub 250 V (de exemplu, 220/127 V) sînt rețele de joasă tensiune. Rețeaua de 380/220 V poate fi de joasă sau de înaltă tensiune, după cum punctul ei neutru este sau nu legat de pămînt. Într-adevăr, dacă punctul neutru este legat la pămînt (fig. 12.1, a), atingerea accidentală a unei faze cu pămîntul duce la închiderea unui curent de scurtcircuit monofazat, care declanșează cel puțin aparatul de protecție de pe faza defectă; în cazul rețelei cu neutrul izolat (fig. 12.1, b), punerea la pămînt a unei faze nu determină trecerea unui curent de avarie, deci protecția nu acționează și ca urmare tensiunea între pămînt și fazele sănătoase atinge valoarea tensiunii de linie — 380 V.

În considerentele de mai sus s-a ținut seama de faptul fundamental în tehnica protecției muncii că, în cazul atingerilor indirecte, curentul care trece prin corpul omenească se închide într-un circuit din care fac parte întotdeauna și pământul sau piese în contact electric bun cu acesta.

În funcție de pericolul de electrocutare, încăperile (locurile de muncă) se clasifică în următoarele trei categorii.

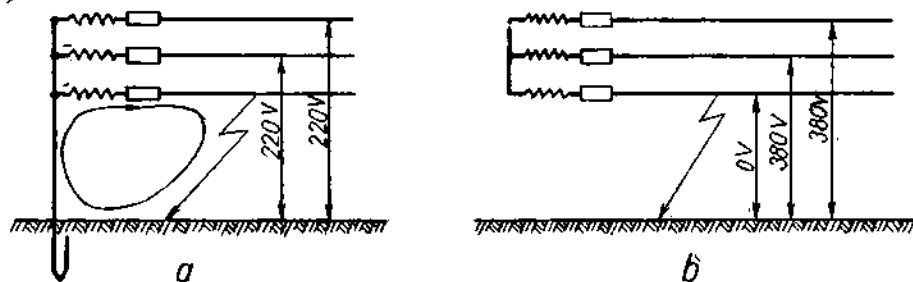


Fig. 12.1. Rețea de 380/220 V : a — cu neutrul legat la pământ ; b — cu neutrul izolat față de pământ

Încăperi puțin periculoase, care sînt încăperi uscate și încălzite, cu pardoseală izolantă și fără construcții metalice în apropierea instalațiilor electrice, de exemplu : locuințe, birouri, vestiare.

Încăperi periculoase și anume încăperi în care există unul din factorii :

- praf bun conducător de electricitate ;
- temperatura 25...30°C ;
- construcții metalice în apropierea instalațiilor electrice fără ecrane protectoare sau avînd sub 60% din suprafața ocupată cu obiecte metalice ;
- pardoseală bună conducătoare de electricitate (pământ, cărămidă, plăci metalice, beton) sau pardoseală din lemn umezită continuu din cauza procesului de producție ;
- umiditate de 75...97% ;
- gaze, lichide, ce scad rezistența electrică a corpului omului.

Încăperi foarte periculoase și anume încăperi în care există unul din factorii :

- umiditatea relativă a aerului, în mod obișnuit, peste 97% ;
- mase metalice cu suprafața de peste 60% din suprafața zonei de manipulare ;
- vapori sau gaze corosive ;
- temperatura peste 30°C.

În această categorie intră și rezervoarele metalice, cazanele de abur etc., în care la fabricare, revizii și reparații pot lucra oameni.

Echipamentele electrice folosite în procesele de producție se clasifică din punct de vedere al gradului de pericol, de asemenea, în trei categorii.

Echipament fix, care are un amplasament fix și este destinat a funcționa permanent în același loc.

Echipamentul mobil, care funcționează temporar într-un anumit loc și este mutat dintr-un loc în altul numai în stare de nefuncționare, fiind scos de sub tensiune.

Echipament portativ, care este construit special astfel încât în timpul funcționării, fiind sub tensiune, să poată fi purtat ușor de una sau mai multe persoane.

Din cele trei categorii, elementele portative sînt cele mai periculoase, pentru că muncitorul are contact bun și îndelungat cu corpul utilajului, iar izolația sa se poate deteriora ușor datorită solicitărilor mecanice provenite din funcționarea lor (șocuri, zguduituri) sau din deplasări și întinderi ale conductoarelor de alimentare. De asemenea, în multe cazuri, utilajele portative se folosesc în condiții nefavorabile (umezeală, temperatură ridicată etc.).

În funcție de criteriile de mai sus, instalațiile de protecție împotriva electrocutării trebuie să asigure tensiuni de atingere și de pas sub anumite valori prevăzute prin norme /11, 50/. Pentru instalațiile și echipamentele electrice de joasă tensiune de exemplu, se prescriu următoarele valori maxime admisibile:

- 65 V pentru echipamente fixe și mobile de c.a. din locurile puțin periculoase și periculoase, dacă timpul de deconectare în caz de defect este sub 3 s;
- 40 V pentru echipamentele de mai sus, dacă timpul de deconectare depășește 3 s; de asemenea — pentru echipamentele fixe și mobile de c.a. din locurile foarte periculoase;
- 25 V pentru echipamentele fixe și mobile de c.a. din locurile foarte periculoase din instalațiile subterane și pentru echipamentele portative de c.a. din locurile periculoase și foarte periculoase.

Pentru curent continuu, în locurile puțin periculoase și periculoase se prescriu maximum 110 V, iar în locurile foarte periculoase — 65 V.

În anumite locuri, de exemplu, în încăperile puțin periculoase (locuințe, spații administrative și comerciale etc.), dacă tensiunea nu depășește 250 V, luarea de măsuri de protecție speciale nu este necesară.

12.1.3. CAZURI DE ELECTROCUTARE

Rețelele electrice, indiferent de modul lor de execuție — aeriene, în cabluri, conductoare trase prin tuburi etc. — prezintă un contact electric mai bun sau mai puțin bun cu pămîntul. Uneori contactul între rețea și pămînt se realizează în mod voit printr-o priză sau mai multe prize de pămînt, de rezistență electrică redusă; legarea la pămînt în aceste cazuri este necesară pentru a se obține anumite caracteristici funcționale ale rețelei. Un exemplu de asemenea rețea este dat în figura 12.1, *a*. Legătura la pămînt se realizează în asemenea cazuri prin prize de pămînt de exploatare.

Chiar și rețelele care nu au prevăzute legături la pămînt de exploatare prezintă față de pămînt o impedanță oarecare, provenită din capacitatea naturală a fiecărui conductor față de pămînt, din rezistența de izolație a acestora sau din ambele elemente legate în paralel. Schema echivalentă a unei rețele în care se ține seama atât de capacitate, cât și de rezistența de izolație, este dată în figura 12.2, *a*; trebuie remarcat totuși că impedanțele Z , figurate în figura 12.2, *b* drept impedanțe concentrate, sînt în realitate practic uniform repartizate de-a lungul liniei. De asemenea, în cazul general, impedanțele Z pe cele trei faze pot să nu fie egale.

Conform figurii 12.2, *b*, expresia impedanței $\underline{Z}$ este :

$$\underline{Z} = \frac{1}{\frac{1}{R_{iz}} + j\omega C} = \frac{R_{iz}}{1 + j\omega C R_{iz}} = \frac{R_{iz}}{1 + \omega^2 C^2 R_{iz}^2} - j \frac{\omega C R_{iz}^2}{1 + \omega^2 C^2 R_{iz}^2} \quad (12-3)$$

Rezistența de izolație este mult mai mică decât reactanța capacitivă în rețelele de joasă tensiune ; în rețelele de înaltă tensiune raportul este invers, de aceea :

$$\underline{Z}_{jt} = \lim_{C \rightarrow 0} \underline{Z} = R_{iz}, \quad \underline{Z}_{it} = \lim_{R_{iz} \rightarrow \infty} \underline{Z} = - \frac{j}{\omega C} \quad (12-3')$$

Faptul că rețeaua este legată într-un fel oarecare la pământ, indiferent de tipul ei, face ca potențialul pământului să aibă o valoare bine determinată în raport cu potențialele din diferite puncte ale rețelei. De exemplu, dacă impe-

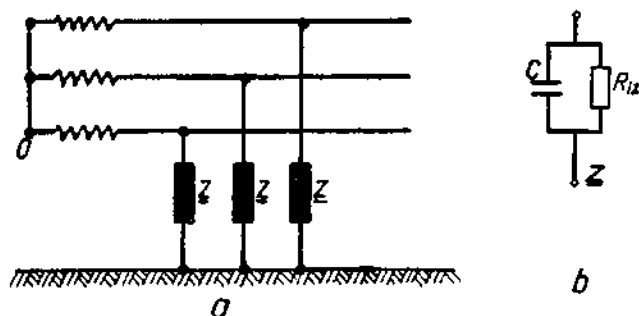


Fig. 12.2. *a* — schema echivalentă a unei rețele cu capacitățile față de pământ C și rezistențele de izolație R_{iz} ; *b* — schema echivalentă a impedanței Z

danțele Z sînt egale pe cele trei faze, potențialul pământului este același cu potențialul punctului neutru O (fig. 12.2, *a*). Este evident deci că, chiar în rețelele cu neutrul izolat, atingerea concomitentă de către om a unui element sub tensiunea rețelei și a pământului va determina închiderea unui curent prin corpul acestuia, curent care se va închide prin impedanțele Z corespunzătoare celorlalte două faze. Cu alte cuvinte, pericol de electrocutare prezintă toate rețelele electrice, indiferent de faptul că punctul lor neutru este legat la pământ sau este izolat față de acesta.

În legătură cu această problemă este necesar să se arate că rețelele electrice pot fi clasificate în rețele cu curent de punere la pământ mare și în rețele cu curent de punere la pământ mic.

Din categoria rețelelor cu curent de punere la pământ mare fac parte rețelele cu neutrul legat direct la pământ, ca în figura 12.1, *a*. Curentul de avarie se închide pe circuitul figurat, care cuprinde rezistența prizei de pământ, impedanța fazei și a conductorului pînă la locul defectului și rezistența de punere la pământ ; întrucît toate aceste elemente sînt mici, curentul care trece rezultă mare.

Rețelele cu neutrul izolat fac parte din categoria celor cu curent de punere la pământ mic; acest lucru se datorește faptului că impedanțele Z , prin care se închide curentul la fazele neavariate, sînt foarte mari, de zeci sau sute de mii de ohmi (fig. 12.3).

Și rețelele cu neutrul legat la pământ pot face parte din categoria rețelor cu curent de punere la pământ mic, dacă între punctul neutrului al transformatorului

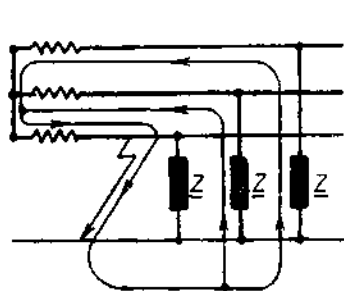


Fig. 12.3. Circulația curentului în cazul unei puneri la pământ monofazat într-o rețea cu neutrul izolat

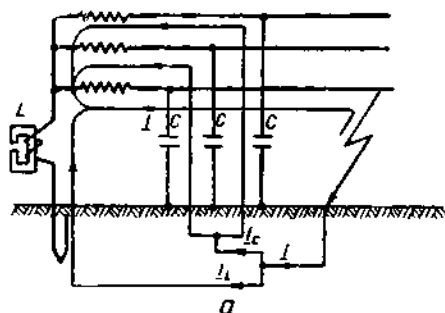


Fig. 12.4. a — rețea cu neutrul pus la pământ prin bobina de stingere; b — diagrama curentilor

și priza de pământ se intercalează o bobină L (fig. 12.4, a). Curentul de punere la pământ I este suma a doi curenți, unul care se închide prin capacitățile C ale liniei, I_C , celălalt — prin inductivitatea L , I_L . Dacă bobina L , denumită „bobina de stingere“, este corect dimensionată, curenții inductiv și capacitiv se compensează (fig. 12.4, b), astfel încît $I \approx 0$. În mod practic, I are o valoare destul de mică dar diferită de zero, din cauza componentelor ohmice ale curenților I_L și I_C și a compensării incomplete a acestora. Bobina de stingere se folosește în instalațiile de 35 kV dacă curentul I_C depășește 5 A și în instalațiile de 6—10 kV — dacă I_C are valori peste 35 A.

Din punctul de vedere al tehnicii securității, rețelele cu curent de punere la pământ mic sînt principal mai puțin periculoase decît cele cu curent de punere la pământ mare; acest lucru se deduce simplu dacă se ține seama de faptul că punerea la pământ se face prin intermediul corpului omenesc. În practică însă, ambele tipuri de rețele sînt la fel de periculoase și trebuie în aceeași măsură prevăzute cu instalații de protecție împotriva electrocutării. Acest lucru se explică prin aceea că în rețelele cu curent de punere la pământ mic există oricînd pericolul unei puneri la pământ monofazate.

Contactele realizate în mod voit între anumite puncte ale rețelei și pământ se numesc *legături* (sau *legări*) la pământ; cele realizate în mod întîmplător se numesc *puneri la pământ*.

În figura 12.5 sînt prezentate diferite scheme conform cărora corpul omenesc poate ajunge sub tensiune. În figură sînt reprezentate și circuitele prin care se închid curenții care trec prin corpul omenesc. Trebuie reamintit că prin „pă-

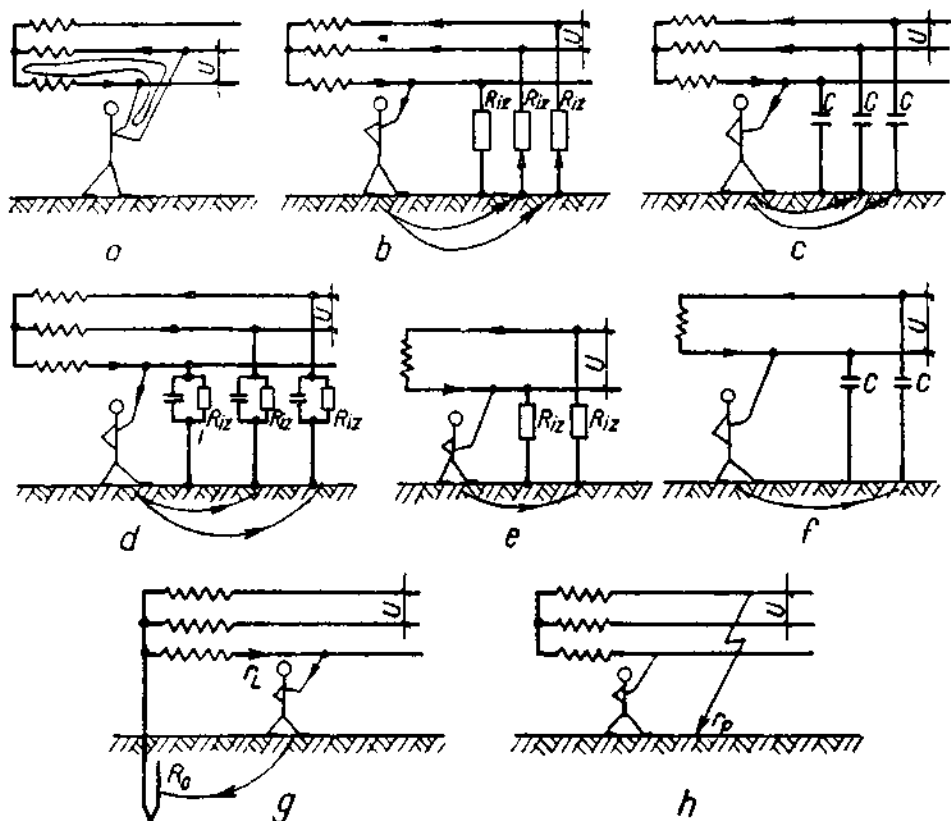


Fig. 12.5. Cazuri de electrocutare: *a* — atingerea directă a două faze, $I_h = \frac{U}{R_h}$; *b* — atingerea directă a unei faze dintr-o rețea de joasă tensiune cu neutrul izolat, $I_h = \frac{U}{\sqrt{3} R_h + \frac{R_{iz}}{\sqrt{3}}}$; *c* — atingerea directă a unei faze dintr-o rețea de înaltă tensiune cu neutrul izolat, $I_h = \frac{\sqrt{3} \omega C U}{\sqrt{1 + 9 \omega^2 C^2 R_h^2}}$; *d* — atingerea directă a unei faze dintr-o rețea cu neutrul izolat în cazul general, $I_h = \frac{U}{R_h \sqrt{3 + \frac{R_{iz}(R_{iz} + 6R_h)}{3(1 + \omega^2 C^2 R_{iz}^2) R_h^2}}}$; *e* — atingerea directă a unei rețele monofazate sau de curent continuu de joasă tensiune, $I_h = \frac{U}{2R_h + R_{iz}}$; *f* — atingerea directă a unei rețele monofazate de înaltă tensiune, $I_h = \frac{\omega C U}{\sqrt{1 + 4 \omega^2 C^2 R_h^2}}$; *g* — atingerea directă a unei faze dintr-o rețea trifazată cu neutrul legat la pământ, $I_h = \frac{U}{\sqrt{3} (r_L + R_h + R_0)}$ ($I_h = \frac{U}{\sqrt{3} (R_h + R_0)}$); *h* — atingerea directă a unei faze dintr-o rețea trifazată cu neutrul izolat, la care altă fază este pusă la pământ printr-o rezistență r_p , $I_h = \frac{U}{R_h + r_p}$

mint" se înțelege ori pământul însuși, ori anumite piese conductoare care de cele mai multe ori au o bună legătură cu pământul. Legenda figurii 12.5 conține și expresiile curentului care trece prin corpul omenesc (în paranteze sînt date relațiile de calcul al curentului în cazurile cînd rezistența r_L a fazei, de la sursă pînă la corpul omului, este neglijabilă în raport cu celelalte rezistențe cu care este legată în serie).

În legătură cu figura 12.5 trebuie arătat că „atingerea unei faze” de către om poate să însemne și faptul (mult mai frecvent) cînd într-un utilaj electric oarecare (motor, generator, aparat etc.) are loc un defect de izolație, datorită căruia elementele care în mod normal nu sînt sub tensiune (carcasa utilajului, părțile metalice ale utilajelor antrenate sau comandate de elementele defecte) ajung sub tensiune. În acest caz, contactul omului cu aceste elemente reprezintă o *atingere indirectă*.

Mai trebuie menționat faptul că în relațiile aferente figurii 12.5, prin R_h se înțelege rezistența echivalentă a corpului omenesc și a celorlalte elemente aferente (mănuși, covor de cauciuc, rezistența de contact cu solul etc.) dacă acestea există.

În fine, se observă că de cîte ori între rețea și pământ există o legătură de rezistență relativ redusă (rezistența corpului omenesc R_h — fig. 12.5, *b, c, d, e, f*, rezistența prizei de pământ R_0 — fig. 12.5, *g* sau rezistența de punere la pământ r_p — fig. 12.5, *h*), rezistențele sau reacțiunile legate în paralel cu aceasta nu se au în considerare din cauza valorii mici a curentului pe care îl conduc.

12.2. METODE DE PROTECȚIE

Conform celor arătate mai sus, pentru a preveni accidentele prin electrocutare, se pot lua separat sau concomitent următoarele măsuri:

- micșorarea tensiunii de atingere pînă la valori sub limita „periculoasă”;
- mărirea impedanței echivalente a corpului omenesc ($12-1$);
- micșorarea duratei de trecere a curentului prin corpul omenesc, prin prevederea de dispozitive care să scoată de sub tensiune în mod rapid rețeaua sau instalația defectă.

Pe baza acestor metode s-au dezvoltat următoarele metode de protecție, a căror aplicare în practică le-a dovedit eficacitatea:

- a. folosirea unei tensiuni de alimentare reduse;
- b. protecția prin legare la pământ;
- c. protecția prin legare la nul;
- d. izolarea suplimentară de protecție;
- e. separarea de protecție;
- f. egalizarea potențialelor;
- g. dirijarea repartiției potențialelor;
- h. deconectarea automată de protecție la apariția unor tensiuni de atingere periculoase (tensiuni de defect);

i. deconectarea automată de protecție la apariția unor scurgeri de curent periculoase (curenți de defect);

j. mijloace individuale de protecție împotriva influențelor electromagnetice, aplicate la sursa influențelor și la elementele supuse influențelor.

Unele dintre metodele enumerate pot asigura singure protecția (legarea la pământ, legarea la nul etc.); ele se numesc, în asemenea cazuri, *metode de protecție principale sau de bază*. În locurile de muncă mai periculoase, normele de tehnică securității impun folosirea, alături de metodele de bază, a unor *metode de protecție suplimentare*, care le completează pe acestea în vederea asigurării unei protecții radicale împotriva atingerilor indirecte.

12.2.1. FOLOSIREA TENSIUNILOR DE ALIMENTARE REDUSE

Această metodă de protecție este justificată prin faptul că intensitatea curentului prin corpul omului scade odată cu tensiunea aplicată.

Normele /57/ prevăd tensiunile nominale de lucru admisibile pentru alimentarea consumatorilor care funcționează în anumite condiții. Astfel, pentru corpurile de iluminat portative, folosite în zona de manipulare din locurile foarte periculoase, tensiunea de alimentare se limitează la 12 V; uneltele portative și lămpile cu incandescență din locurile periculoase și foarte periculoase—24 V; uneltele portative cu izolație întărită în locurile periculoase și foarte periculoase—42 V etc.

De obicei, tensiunile reduse se obțin din rețeaua generală de alimentare prin transformare. La folosirea în acest scop a transformatoarelor obișnuite, în cazul unui defect de izolație între înfășurarea primară și secundară a transformatorului, corpul omului care este în contact cu aceasta din urmă este supus tensiunii de fază a înfășurării primare (fig. 12.6), ceea ce reprezintă un pericol mare de accidentare. În cazul autotransformatoarelor, legătura galvanică între primar și secundar este stabilită constructiv; din aceste motive, folosirea

transformatoarelor obișnuite și a autotransformatoarelor în scopul obținerii tensiunilor scăzute este interzisă; în asemenea cazuri, se folosesc transformatoare speciale construite după principiile expuse în paragraful 12.2.5.

Tensiunile reduse pot fi obținute și de la convertizoare cu înfășurări separate electric între ele, ca și de la baterii de acumulatori sau elemente galvanice.

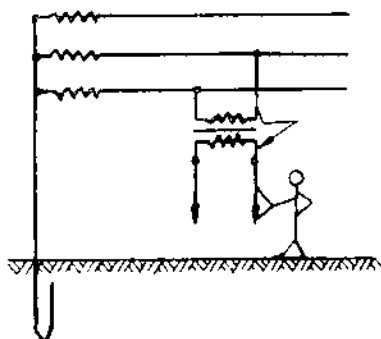


Fig. 12.6. Pătrunderea tensiunii primare în înfășurarea secundară

12.2.2. PROTECȚIA PRIN LEGAREA LA PĂMÎNT

Legarea la pământ constituie unul dintre mijloacele de bază folosite pentru protecția împotriva atingerilor indirecte, în special în

rețelele cu neutrul izolat. Această metodă de protecție constă practic în legarea la pământ a tuturor carcaselor motoarelor care în mod normal nu se găsesc sub tensiune, dar care pot fi puse sub tensiune ca urmare a unui defect de izolație. În urma legării la pământ tensiunea de atingere este micșorată la valori admisibile; în alte cazuri (vezi par. 12.2.3) instalația de legare la pământ asigură căi de trecere suplimentare pentru curenții de defect, ceea ce determină deconectarea rapidă a rețelei defecte.

12.2.2.1. Rețele cu neutrul izolat. Figura 12.7 prezintă cazul unui utilaj (motor electric, de exemplu) alimentat de la cele trei faze ale unei rețele de joasă tensiune cu neutrul izolat; partea metalică a utilajului (carcasa) este legată la

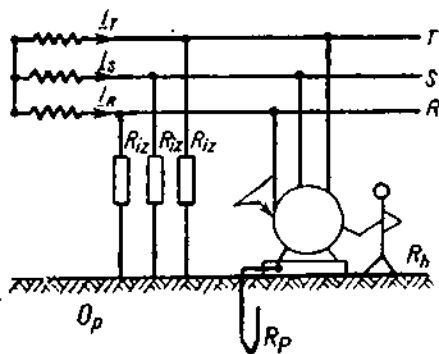


Fig. 12.7. Schema de calcul al curentului ce trece prin corpul omului

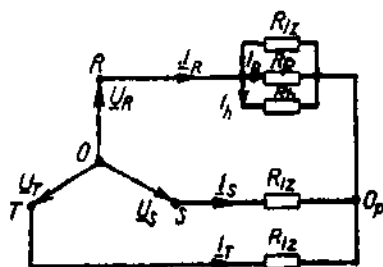


Fig. 12.8. Schema echivalentă schemei din figura 12.7

pământ printr-o priză de rezistență R_p . În cazul unui defect de izolație, carcasa este pusă sub tensiunea fazei defecte R ; între carcasă și pământ apare o tensiune, sub acțiunea căreia prin corpul omului (de rezistență R_h) se scurge un curent I_h . Mai jos se calculează intensitatea acestui curent și se studiază influența rezistenței prizei de pământ asupra valorii acestui curent.

Schemei din figura 12.7 îi corespunde schema echivalentă din figura 12.8. Se vede că între faza R și pământ sînt intercalate rezistențele R_{iz} , R_p și R_h în paralel; rezistența echivalentă a acestora se poate calcula din:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{iz}} + \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_h} \quad (12-4)$$

Cu această notație, ecuațiile tensiunilor în circuitele fazelor R și S , respectiv R și T , se scriu sub forma:

$$\left. \begin{aligned} U_R - U_S &= R_e I_R - R_{iz} I_S \\ U_R - U_T &= R_e I_R - R_{iz} I_T \end{aligned} \right\} \quad (12-5)$$

iar în nodul O_p :

$$I_R + I_S + I_T = 0. \quad (12-6)$$

Explicitînd curenții I_S și I_T din relația (12—5) și înlocuind în (12—6), se obține o ecuație în I_R care, rezolvată, dă expresia :

$$I_R = \frac{2U_R - U_S - U_T}{2R_e + R_{iz}} \quad (12-7)$$

Ținînd seama de faptul că :

$$U_R + U_S + U_T = 0, \quad (12-8)$$

relația (12—7) devine :

$$I_R = \frac{3U_R}{2R_e + R_{iz}} \quad (12-9)$$

În rezistența de pe faza R :

$$R_e I_R = R_h I_h, \quad (12-10)$$

asa încît curențul :

$$I_h = I_R \frac{R_e}{R_h} = \frac{R_e}{R_h} \frac{3U_R}{2R_e + R_{iz}} = \frac{3U_R}{2R_h + \frac{R_h R_{iz}}{R_e}};$$

înlocuind relația (12—4) și efectuînd calculele, se obține expresia căutată :

$$I_h = \frac{3U_R}{3R_h + R_{iz} + \frac{R_h R_{iz}}{R_p}} = \frac{\sqrt{3} U}{3R_h + R_{iz} + \frac{R_h R_{iz}}{R_p}} \quad (12-11)$$

Dacă instalația nu este prevăzută cu priză de pămînt, $R_p = \infty$ și se obține :

$$I_h (R_p = \infty) = \frac{\sqrt{3} U}{3R_h + R_{iz}}, \quad (12-12)$$

identică cu relația aferentă figurii 12.5, b ; se vede că raportul :

$$\frac{I_h}{I_h (R_p = \infty)} = \frac{1}{1 + \frac{R_h R_{iz}}{R_p (3R_h + R_{iz})}} \quad (12-13)$$

este întotdeauna subunitar, adică intensitatea curențului care traversează corpul omului ce atinge carcasa unui utilaj legat la pămînt este întotdeauna mai mică decît în cazul în care priza de pămînt nu este instalată ; priza de pămînt are un rol de protecție.

Rolul de protecție al prizei de pământ rezultă sub aspect fizic din figura 12.8; dacă $R_p=0$, potențialul punctului O_P (pământul) ajunge la potențialul fazei R ; căderea de tensiune pe rezistența R_p este nulă, deci tensiunea de atingere (aplicată rezistenței R_h conectată în paralel) este nulă.

În general, rezistența prizei de pământ, de câțiva ohmi, este mult mai mică decât R_h și R_{iz} —cu valori de sute pînă la zeci de mii de ohmi; din acest motiv, rezistența $R_e \approx R_p$ și $I_p \approx I_R$ (fig. 12.8 și rel. 12—4). În acest caz relația (12—9) se scrie:

$$I_R \approx \frac{\sqrt{3} U}{2R_p + R_{iz}} \quad (12-14)$$

Rezultă tensiunea de atingere (dintre carcasă și pământ):

$$U_a = R_p I_R = \frac{\sqrt{3} U R_p}{2R_p + R_{iz}} \quad (12-15)$$

Relația (12—15) arată că tensiunea de atingere scade odată cu rezistența R_p ; dacă R_p se alege suficient de mică, tensiunea U_a poate avea valori sub limita admisibilă.

Explicitînd din relația (12—15) expresia rezistenței prizei de pământ R_p , se obține:

$$R_p \leq \frac{U_a}{\sqrt{3} U - 2U_a} R_{iz} \quad (12-16)$$

Dacă, de exemplu, $R_{iz} = 10\,000 \, \Omega$, $U = 380 \, \text{V}$ și $U_a = 24 \, \text{V}$, rezultă $R_p = 390 \, \Omega$; prin urmare, dacă priza de pământ are o rezistență sub $390 \, \Omega$, tensiunea de atingere rezultă sub $24 \, \text{V}$.

Relațiile (12—15) și (12—16) arată rolul important pe care-l joacă rezistența de izolație R_{iz} în limitarea tensiunii de atingere; dacă izolația rețelei față de pământ este deteriorată, R_{iz} scade și ca urmare tensiunea de atingere crește. Figura 12.9 prezintă schema simplificată a rețelei din figura 12.7 pentru cazul că rezistența de izolație a unei faze (de exemplu S) a scăzut la valori comparabile cu cele ale rezistenței prizei de pământ R_p . Presupunînd că celelalte două faze (R și T) au izolațiile în bună stare, curenții care trec prin rezistențele de izolație respective pot fi neglijăți.

Rezultă că tensiunea U dintre fazele R și S se împarte între cele două rezistențe în serie R_p și R_{iz} proporțional cu valorile acestora, adică tensiunea de atingere este:

$$U_a = \frac{R_p}{R_p + R_{iz}} U, \quad (12-17)$$

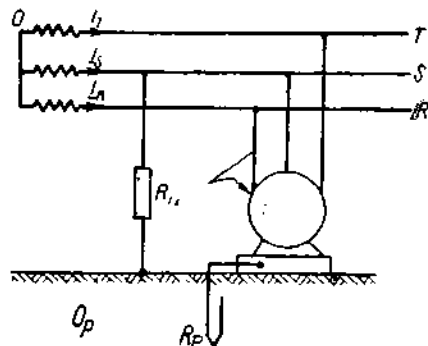


Fig. 12.9. Schema simplificată în cazul unei faze cu rezistență de izolație mică

de unde :

$$R_p \leq \frac{U_a}{U - U_a} R_{tz}. \quad (12-18)$$

Dacă în exemplul precedent ($U = 380$, $U_a = 24$ V) rezistența de izolație a fazei S scade la valoarea de $R_{tz} = 50 \Omega$, pentru ca tensiunea de atingere să nu depășească limita admisibilă este necesar ca $R_p \leq 3,4 \Omega$.

Din exemplele date se vede că starea izolației fazelor rețelei față de pământ joacă un rol deosebit de important în protecția contra tensiunilor de atingere. Din acest motiv, în special în locurile de muncă foarte periculoase, rezistența izolației trebuie controlată în mod regulat în cursul exploatării.

Prizele de pământ în cazul rețelelor cu neutrul izolat se dimensionează astfel încât să asigure limitarea tensiunilor de atingere chiar și în cazul în care rezistențele de izolație ale fazelor sînt micșorate. De aceea rezistențele prizelor de pământ, conform prescripțiilor /11, 58/, variază între 1 și 20 Ω .

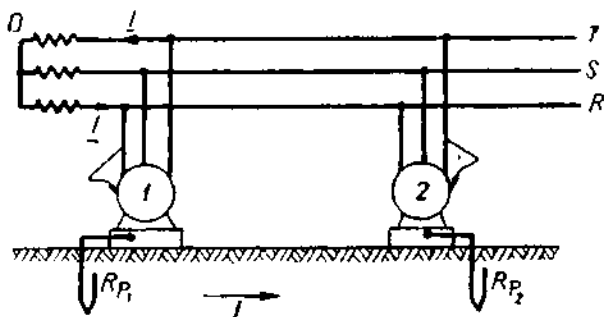


Fig. 12.10. Dubla punere la pământ

Trebuie arătat însă că tensiuni de atingere periculoase pot fi realizate chiar și în instalații a căror rezistență de izolație este în bună stare, iar prizele de pământ au rezistențe cu valori în limite admisibile, în cazul în care are loc cîte un defect de izolație la două utilaje alimentate din aceeași rețea (dublă punere la pământ, fig. 12.10). În acest caz, curentul care trece prin circuit este :

$$I = \frac{U}{R_{p1} + R_{p2}} \quad (12-19)$$

și deci tensiunile de atingere :

$$U_{a1} = \frac{R_{p1}}{R_{p1} + R_{p2}} U, \quad U_{a2} = \frac{R_{p2}}{R_{p1} + R_{p2}} U. \quad (12-20)$$

Se observă că, indiferent de valorile rezistențelor R_{p1} și R_{p2} , $U_{a1} + U_{a2} = U$; cu alte cuvinte, dacă legătura la pământ pentru unul dintre utilaje se alege de rezistență suficient de mică pentru ca tensiunea de atingere corespunzătoare să

fie sub limita admisibilă, pentru celălalt utilaj tensiunea de atingere rezultă peste valoarea admisibilă (de exemplu: $U=380$ V, $U_{a1}=24$ V, $U_{a2}=356$ V).

Remediarea acestei situații se poate realiza prin legarea carcaselor celor două utilaje printr-un conductor de rezistență r_c foarte mică (fig. 12.11); în acest caz, luînd în considerare și rezistența conductoarelor de fază de la punctul de nul

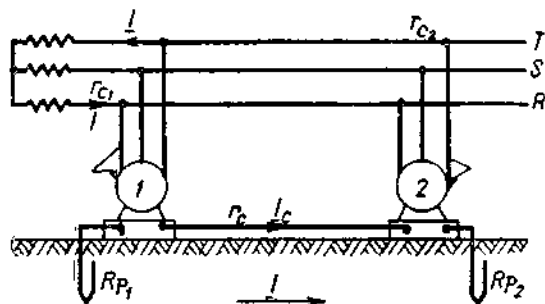


Fig. 12.11. Protecția prin legături de egalizare a potențialelor

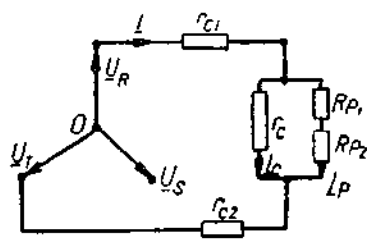


Fig. 12.12. Schema echivalentă schemei din figura 12.11

pînă în locul unde sînt conectate utilajele, r_{c1} și r_{c2} , rezultă schema echivalentă din figura 12.12, care permite determinarea expresiei curentului I sub forma:

$$I = \frac{U}{r_{c1} + r_{c2} + \frac{(R_{p1} + R_{p2}) r_c}{R_{p1} + R_{p2} + r_c}} \quad (12-20')$$

Curentul care se închide prin pămînt este:

$$I_p = \frac{r_c}{R_{p1} + R_{p2} + r_c} I = \frac{r_c U}{(r_{c1} + r_{c2})(R_{p1} + R_{p2} + r_c) + (R_{p1} + R_{p2}) r_c} \quad (12-20'')$$

iar tensiunile de atingere corespunzătoare:

$$\left. \begin{aligned} U_{a1} &= R_{p1} I_p = \frac{r_c R_{p1}}{(r_{c1} + r_{c2})(R_{p1} + R_{p2} + r_c) + (R_{p1} + R_{p2}) r_c} U \\ U_{a2} &= R_{p2} I_p = \frac{r_c R_{p2}}{(r_{c1} + r_{c2})(R_{p1} + R_{p2} + r_c) + (R_{p1} + R_{p2}) r_c} U \end{aligned} \right\} \quad (12-21)$$

Dacă $r_c \ll R_{p1} + R_{p2}$, atunci:

$$U_{a1} + U_{a2} = \frac{r_c}{r_{c1} + r_{c2} + r_c} U. \quad (12-22)$$

Se vede că legătura dintre carcusele celor două utilaje poate să micșoreze fiecare dintre tensiunile de atingere, dacă valoarea ei este suficient de redusă. Comportarea ei se explică prin aceea că, dacă r_c este suficient de mic, căderea de tensiune corespunzătoare se reduce în timp ce cresc căderile de tensiune pe fazele rețelei, măsurate în locurile în care sînt instalate utilajele.

Rolul favorabil al legăturii r_c se manifestă și prin aceea că un defect de tipul arătat în figura 12.10 conduce la stabilirea unui curent I de intensitate mare. Acest curent străbate echipamentul de protecție al rețelei (fuzibile, întrerupătoare), scoțînd de sub tensiune porțiunea defectă.

Exemplu: $r_{c1}=r_{c2}=1\ \Omega$; $r_c=0,25\ \Omega$; $R_{p1}=R_{p2}=20\ \Omega$; $U=380\text{ V}$.

Rezultă: $U_{a1}=U_{a2}=21\text{ V}$; $I=170\text{ A}$.

Expresia $U_{a1}+U_{a2}$ (12—22) reprezintă tensiunea dintre carcusele celor două utilaje. Dat fiind că rolul legăturii r_c este acela de a micșora această tensiune, legătura se numește „de egalizare a potențialului”; asemenea legături se folosesc și în cadrul *metodelor de protecție prin egalizarea potențialelor* (v. par. 12.2.6).

Se vede că legăturile de egalizare pot asigura atît decontarea sectorului defect al rețelei, cît și reducerea tensiunilor de atingere, ceea ce reprezintă două căi foarte importante de micșorare a pericolului de accidentare.

Din cele arătate se poate trage concluzia că legarea la pămînt este o metodă de protecție eficace în cazul rețelelor cu neutrul izolat, dacă se îndeplinesc următoarele condiții principale:

- carcusele echipamentelor electrice să fie legate între ele prin legături de egalizare a potențialului de rezistență suficient de mică;
- rezistențele instalațiilor de legare la pămînt să fie suficient de mici;
- rezistențele instalațiilor de legare la pămînt și a celorlalte legături de protecție să fie controlate riguros în mod periodic, la fel — rezistențele de izolație ale rețelei;
- aparatele de protecție să fie corect reglate pentru a deconecta sectorul defect în cazul dublei puneri la pămînt.

În mod curent, protecția prin legare la pămînt a carcuseror tuturor utilajelor se realizează printr-o *rețea comună (generală) de legare la pămînt*, care reprezintă măsura de protecție principală. Această rețea face, pe de o parte, legătura între toate carcusele echipamentelor alimentate de la aceeași rețea; pe de altă parte, prin rețeaua comună se asigură legarea acestora la prizele de pămînt (fig. 12.13).

Rețeaua comună de legare la pămînt este realizată din conductoare de protecție, care însoțesc în permanență conductoarele de alimentare cu energie electrică; în acest fel, legătura conductoarelor de protecție la utilaje se execută odată cu racordurile de lucru. Conductoarele de protecție sînt constituite din conductoare speciale prevăzute în cabluri sau în afara cablurilor; în același scop pot fi însă folosite și învelișurile metalice ale cablurilor, conductele de apă sau țevile metalice de protecție ale conductoarelor.

Este necesar ca toate utilajele să fie legate la rețeaua comună de protecție; un singur utilaj nelegat la această rețea creează pericolul de punere la pămînt

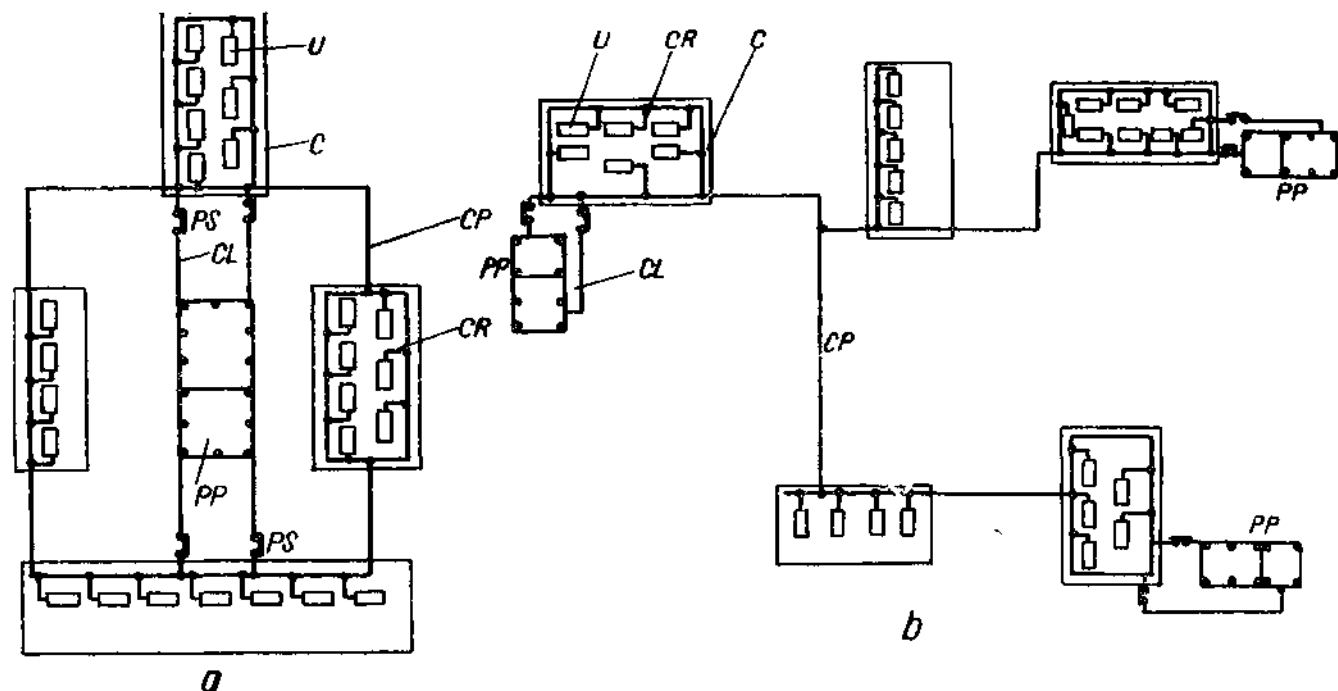


Fig. 12.13. Instalație de legare la pământ : a — de tip închis ; b — ramificată ; U — utilaj ; CP — conductor principal de legare la pământ ; CR — conductor de ramificație ; CL — conductor de legătură între priza de pământ și conductorul principal de legare la pământ ; PP — priză de pământ ; PS — piesă de separație ; C — conturul clădirii.

bifazată. Din acest motiv, cînd aceeași sursă alimentează mai multe sectoare, rețelele generale de protecție ale acestora trebuie să fie legate între ele, constituind o rețea comună.

Este preferabil ca rețeaua generală de punere la pămînt să fie în circuit închis, așa cum se vede în figura 12.13, *a*; în acest caz, legătura la priza de pămînt este asigurată și în cazul întreruperii conductoarelor rețelei. Dacă însă utilajele sînt așezate la distanțe relativ mari între ele, instalația de legare la pămînt poate fi de tip deschis (fig. 12.13, *b*). Legătura între priza de pămînt și rețeaua comună se realizează cel puțin prin două conductoare. Îmbinările trebuie executate prin sudare.

Ca măsură suplimentară de protecție (de rezervă), echipamentele electrice aflate în aceeași clădire sau grupate în aceeași zonă se conectează la o *instalație de legare la pămînt locală*. Prizele de pămînt ale acestor instalații contribuie la obținerea unei rezistențe suficient de mici a instalației generale de legare la pămînt; totodată construcția lor trebuie să fie astfel executată încît să asigure o dirijare a repartiției potențialelor suficient de bună pentru a reduce tensiunea de atingere și de pas sub limitele admise, chiar și în cazul punerilor la pămînt duble (v. par. 12.2.6). Instalațiile de legare la pămînt locale acționează în cazul defectării legăturilor la rețeaua de protecție comună; de asemenea, ele se dovedesc utile dacă din greșeală în locul conductorului de protecție racordat la rețeaua generală se leagă la carcasa utilajului un conductor de fază.

În fine, mai ales în instalațiile electrice subterane, se aplică încă o măsură de protecție suplimentară de egalizare a potențialelor. Această măsură constă în legarea împreună și la cea mai apropiată instalație locală a tuturor elementelor bune conductoare de electricitate din zona respectivă, chiar dacă acestea nu fac parte dintr-un echipament electric (conducte cu diferite destinații, construcții metalice etc). Pe această cale se realizează micșorarea rezistențelor dintre carcasele utilajelor electrice și a celor de legare la pămînt; de asemenea se micșorează tensiunile de atingere care pot fi aplicate acestor elemente în mod accidental (v. par. 12.2.6).

12.2.2.2. Rețele cu neutrul legat la pămînt. Dacă se produce punerea sub tensiune a carcasei unei mașini electrice alimentate de la o rețea cu neutrul legat la pămînt printr-o priză de rezistență R_0 , iar carcasa este și ea legată la pămînt printr-o priză de rezistență R_p (fig. 12.14), prin circuitul fază-pămînt va trece un curent de intensitate:

$$I = \frac{U_f}{R_0 + R_p} \quad (12-23)$$

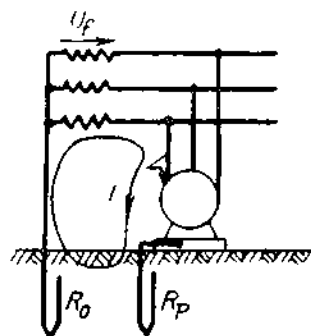


Fig. 12.14. Punerea sub tensiune a carcasei legate la pămînt a unui utilaj alimentat de o rețea cu neutrul legat la pămînt.

În relația 12-23 s-au neglijat rezistența de contact în locul defectului, rezistența fazei defecte etc. în raport cu $R_0 + R_p$.

Comparând relația (12—23) cu (12—19), se vede că punerea la pământ mono-fazăată într-o rețea cu neutrul pus la pământ este echivalentă cu punerea la pământ bifazăată într-o rețea cu neutrul izolat.

Tensiunile de atingere dintre carcasă și sol, respectiv dintre nulul rețelei și pământ sînt :

$$U_{ap} = R_p I = \frac{R_p}{R_0 + R_p} U_f; \quad U_{a0} = R_0 I = \frac{R_0}{R_0 + R_p} U_f. \quad (12-24)$$

Se vede că, indiferent de valorile rezistențelor R_p și R_0 , $U_{ap} + U_{a0} = U_f$; prin urmare, cel puțin una dintre tensiunile de atingere ajunge, în general, la valori periculoase.

Dacă se are în vedere numai limitarea tensiunii de atingere U_{ap} , raportul dintre R_p și R_0 trebuie să fie :

$$\frac{R_p}{R_0} \leq \frac{U_{ap}}{U_f - U_{ap}}; \quad (12-25)$$

de exemplu, dacă $R_p = 4 \Omega$ și U_{ap} trebuie limitat la 40 V, în rețelele cu $U_f = 220$ V, $R_0 \geq 18 \Omega$, iar în rețelele cu $U_f = 120$ V, $R_0 \geq 8 \Omega$; tensiunile de atingere U_a vor fi de 180, respectiv 80 V, valori care pot produce accidente grave.

Normele de tehnica securității limitează valoarea lui R_p la 4Ω ; prescripțiile de exploatare indică pentru priza de pământ de exploatare o rezistență $R_0 \leq 4 \Omega$; rezultă că, în general, tensiunile U_{ap} și U_{a0} sînt de valori apropiate și fiecare în parte periculoase.

Rezultă de aici că legarea la pământ a utilajelor alimentate din rețele cu neutrul legat la pământ nu constituie o metodă de protecție la fel de eficace ca în cazul alimentării din rețelele cu neutrul izolat. Protecția de bază la rețele cu neutrul legat la pământ constă în legarea la nulul de protecție (v. par. 12.2.3); legarea la pământ reprezintă însă o metodă de protecție suplimentară în cazul acestor rețele, întrucît ea asigură în orice caz micșorarea tensiunilor de atingere.

Prin analogie cu dubla punere la pământ din cazul rețelelor cu neutrul izolat, pentru rețelele cu neutrul legat la pământ se pot micșora mult tensiunile de atingere și simultan se pot mări mult curenții de defect dacă priza de pământ de exploatare și cea de protecție sînt legate între ele printr-un conductor de rezistență redusă. Această metodă de protecție se reduce practic la protecția prin legarea la nulul de protecție.

12.2.3. PROTECȚIA PRIN LEGAREA LA NULUL DE PROTECȚIE

Principiul protecției prin legarea carcaselor la nulul legat la pământ al rețelei de alimentare, este ilustrat în figura 12.15. În cazul producerii unui defect de izolație, apare un curent de defect, care se închide prin circuitul indicat și a cărui intensitate este :

$$I_d = \frac{U_f}{R_f + R_n}, \quad (12-26)$$

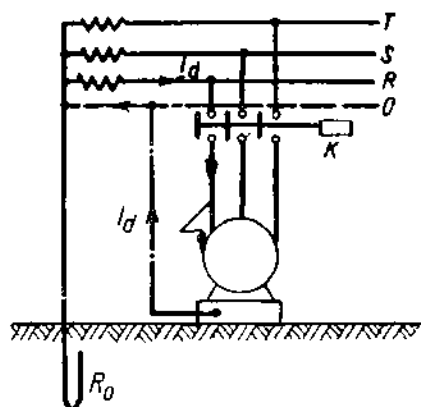


Fig. 12.15. Principiul protecției prin legare la nul

dată poate conduce la apariția unui pericol de accidentare datorat tocmai instalației de protecție. În figura 12.16 este dat exemplul unei rețele care alimentează atât receptori trifazați cît și receptori monofazați, aceștia din urmă fiind

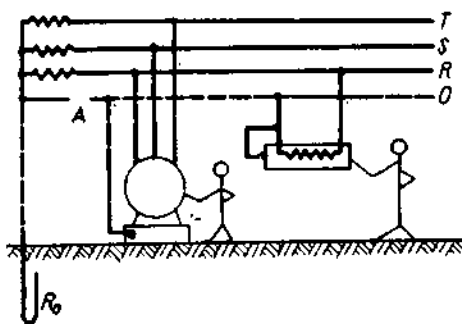


Fig. 12.16. Pericol de accidentare în cazul folosirii nulului de lucru drept nul de protecție

unde s-au luat în considerație numai rezistențele conductoarelor de fază și de nul. Dacă I_d este suficient de mare, protecția de supracurent instalată pe contactorul K va acționa și acesta va scoate utilajul defect de sub tensiune.

Principiul descris pare foarte simplu și ușor de aplicat; conform acestui principiu, protecția este asigurată dacă se iau măsuri pentru ca I_d să fie suficient de mare (deci conductorul de nul să aibă secțiune suficientă), protecția întreprinsorului să fie corect reglată, iar legătura carcasei la nul să fie îngrijit executată. În practică însă se pot ivi cazuri cînd realizarea protecției după schema

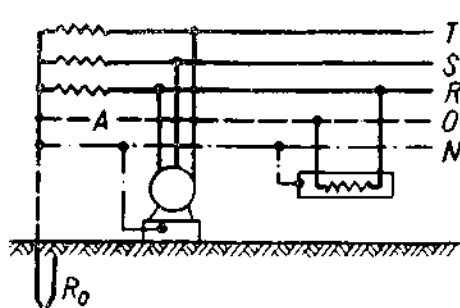


Fig. 12.17. Instalarea conductorului de nul de protecție N alături de conductorul de nul de lucru O

conectați între o fază și nul. Dacă dintr-un motiv oarecare conductorul de nul se întrerupe în punctul A , carcasa tuturor receptoarelor mono- și trifazate conectate în aval de punctul A ajung sub tensiunea de fază.

Din acest motiv, legarea carcaselor la punctul neutru trebuie executată printr-un conductor de nul de protecție, care trebuie să fie diferit de nulul de lucru, așa cum se vede în figura 12.17; în acest caz întreruperea conductorului de nul de lucru nu afectează legătura de protecție a utilajelor la neutrul sursei de alimentare. Pentru a se evita greșelile de montare, cele două conductoare de nul se îmbracă în izolații de culori diferite: cel de lucru — alb sau cenușiu; cel de protecție — galben cu verde.

Nici instalarea conductorului separat de nul de protecție nu este însă suficientă pentru evitarea sigură a accidentelor. În cazul întreruperii conductorului de nul de protecție, toate utilajele legate la nul pe partea întreruptă rămân neprotejate; dacă unul din acestea se defectează (fig. 12.18), ajung sub tensiunea rețelei nu numai utilajul defect ci, prin intermediul conductorului de nul, toate carcasele legate cu acesta, amplificându-se pericolul de accidentare. Pentru a

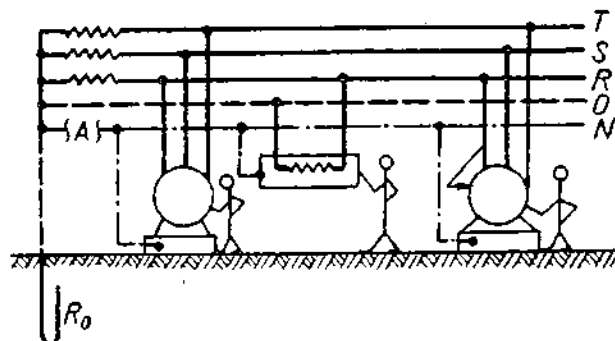


Fig. 12.18. Pericol de accidentare în cazul întreruperii nului de protecție

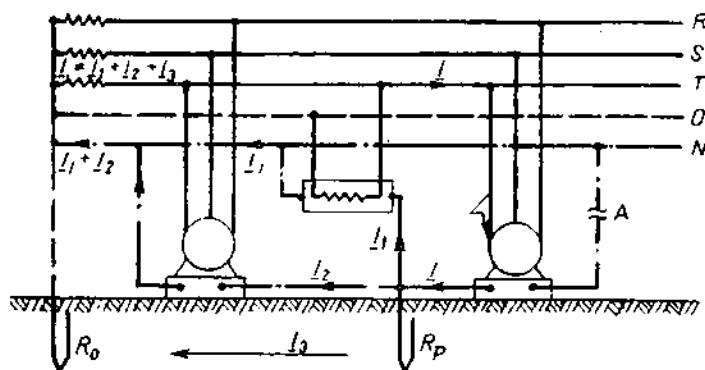


Fig. 12.19. Evitarea pericolului de accidente prin legarea la pământ a instalației de nul

se evita asemenea consecințe, unele puncte din rețeaua de nul se leagă la pământ, creîndu-se astfel căi suplimentare de trecere a curenților de defect (fig. 12.19). Pe de o parte, se vede că curențul de defect I se închide pe căile pe care circulă curenții I_1 , I_2 , I_3 ; pe de altă parte, prizele de pământ de protecție se dimensionează astfel încît să asigure protecția chiar dacă ar funcționa singure, adică tensiunea de atingere să fie sub valoarea admisibilă (de exemplu 40 V). Practic această condiție se realizează dacă $R_p < 4 \Omega / 60\%$.

Cele mai importante puncte din rețeaua de nul care trebuie legate la pământ sînt tablourile de distribuție, pentru că întreruperea în rețeaua de nul la un tablou sau între tablouri conduce la punerea sub tensiune a mai multor utilaje.

Figura 12.20 prezintă modul corect de realizare a instalațiilor de protecție prin legarea la nul. Din principiile amintite rezultă că folosirea siguranțelor fuzibile sau a altor mijloace de protecție în rețeaua de nul de protecție nu este permisă.

Funcționarea corectă a instalației de protecție prin legarea la nul este realizată numai dacă intensitatea curentului de defect (12—26) este suficient de

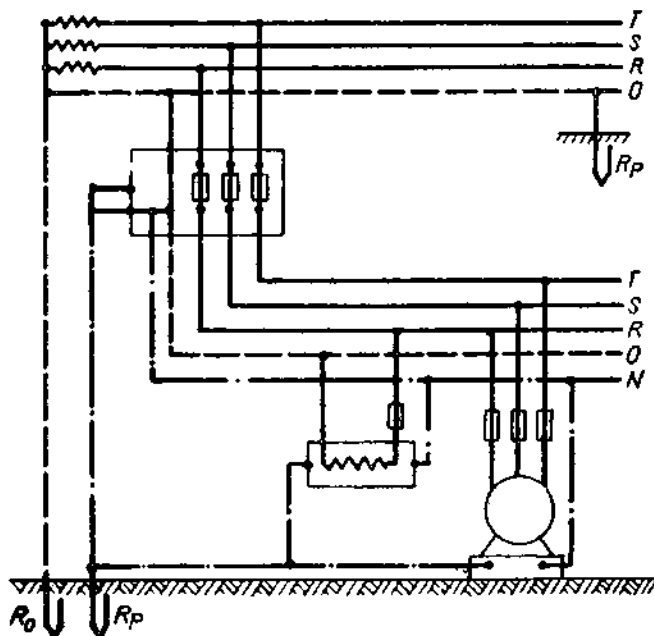


Fig. 12.20. Realizarea instalației de protecție prin legare la nul

mare pentru a determina acționarea fuzibilelor sau întreruptoarelor automate ; conform /60/ este necesar ca :

$$I_d \geq K I_{np}, \quad (12-27)$$

unde I_{np} este curentul nominal al siguranței fuzibile sau valoarea reglată pe releul de protecție maximală a întreruptorului. K este un coeficient care are valoarea 3,5 pentru siguranțe cu $I_{np} < 50$ A, respectiv 5 pentru $I_{np} > 63$ A ; în cazul întreruptoarelor automate, $K = 1,25$.

În scopul realizării condiției (12—27) se alege secțiunea necesară pentru conductorul de nul de protecție. /60/ indică și valorile minime admisibile pentru această secțiune.

Mai trebuie remarcat faptul că, în special în cazul rețelelor electrice aeriene, pentru calculul curentului de defect trebuie ținut seama și de reactanțele din circuitul acestuia.

Accidente grave pot avea loc, de exemplu, dacă o rețea alimentează unele sectoare în care este aplicată numai protecția prin legare la nul și alte sectoare unde se aplică protecția prin legare la pământ (fig. 12.21). Asemenea cazuri s-ar putea întâmpla când două sau mai multe întreprinderi, alimentate din același post de transformare, aplică protecții diferite, sau când în aceeași între-

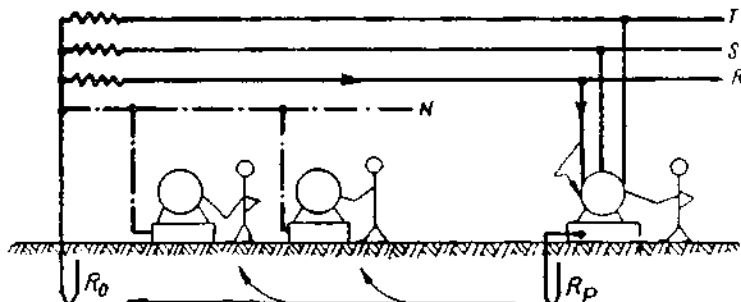


Fig. 12.21. Pericol de accidentare la folosirea concomitentă a protecțiilor prin legare la pământ și prin legare la nul în sectoare diferite alimentate din aceeași rețea

prindere, din motive de economie greșit înțeleasă, rețeaua de protecție pentru legarea la nul nu se prelungește pînă la utilajele electrice îndepărtate de clădirile principale. Se vede că în cazul punerii sub tensiune a unei carcase protejate prin punere la pământ, curentul de legare la pământ va avea valoarea :

$$I = \frac{U_f}{R_0 + R_p} \quad (12-28)$$

rezultă că utilajul defect, respectiv toate utilajele conectate la nulul de protecție se vor afla sub tensiunea de atingere :

$$U_{ap} = R_p I = \frac{R_p}{R_0 + R_p} U_f,$$

respectiv

$$U_{a0} = R_0 I = \frac{R_0}{R_0 + R_p} U_f. \quad (12-29)$$

Intrucît $U_{ap} + U_{a0} = U_f$ rezultă că, în general, tensiunile de atingere la toate utilajele legate la nulul de protecție și la utilajul defect vor avea valori periculoase.

Cu toate că și în acest caz legarea suplimentară la pământ are o influență favorabilă, se interzice folosirea concomitentă a celor două măsuri de protecție (legare la nul și legare la pământ) în diferite sectoare alimentate de aceeași rețea.

12.2.4. IZOLAREA SUPLIMENTARĂ DE PROTECȚIE

Conform relației (12—1), intensitatea curentului ce străbate corpul omenesc scade atunci când impedanța (rezistența) electrică a acestuia crește. Un efect identic se obține dacă în serie cu corpul omenesc se introduc elemente izolatoare de protecție, echivalente cu rezistențe electrice de valoare ridicată.

Izolarea suplimentară de protecție se poate realiza pe două căi principale : prin izolarea suplimentară a echipamentului electric sau prin izolarea amplasamentului în care omul își desfășoară munca.

Izolarea de protecție a echipamentului electric se poate executa la trei niveluri :

- sub forma unui înveliș izolator care acoperă toate elementele metalice accesibile unei atingeri și care ar putea intra sub tensiune ; exemplu : executarea carcaselor din material izolator sau acoperirea acestora cu material izolator ;

- sub forma unei izolații intermediare între elementele accesibile unei atingeri și elementele care ar putea ajunge sub tensiune ; exemplu : piese de separare și piese intermediare izolatoare, care întrerup continuitatea electrică a arborilor, pîrghiilor, sau carcase, pereți despărțitori ;

- sub forma unei izolații întărite, care este echivalentă cu o izolație de protecție suprapusă peste cea de lucru.

Izolarea amplasamentului omului se realizează introducînd elemente izolatoare între corpul omului și pământ. În acest scop, atît pardoseala cît și toate elementele metalice din zona de manipulare, care sînt în legătură cu pământul, se acoperă cu material izolant.

12.2.5. SEPARAREA DE PROTECȚIE

Separarea de protecție se folosește drept măsură de protecție în special la sculele portative de puteri mari, care nu pot fi alimentate cu tensiuni reduse ; ea poate fi însă utilizată și în cazul altor echipamente dacă alte metode de protecție nu prezintă siguranță suficientă sau sînt dificil de realizat practic.

Atingerea unui element sub tensiune al unei rețele legate la pământ este întotdeauna periculoasă, pentru că în aceste condiții corpul omului este supus la întreaga tensiune față de pământ a rețelei, iar rezistențele de izolație nu au acțiune de limitare a curentului corespunzător. În rețelele cu neutrul izolat, intensitatea curentului ce trece prin corpul omenesc poate fi limitată la valori nepericuloase, dacă rezistențele de izolație sînt menținute la valori suficient de mari.

Separarea de protecție este o măsură care constă în introducerea unui transformator de separație între consumator și rețea; pe această cale chiar dacă rețeaua de alimentare este cu neutrul legat la pământ, secundarul transformatorului nu se leagă la pământ.

În acest fel, scula este alimentată dintr-o rețea izolată față de pământ, rezistența de izolație a acesteia putând fi menținută suficient de ridicată pentru a limita curenții prin corpul omenesc la valori nepericuloase. În scopul măririi siguranței, fiecare utilaj se alimentează de la un transformator de separație propriu, iar conductoarele de legătură se fac cât mai scurte.

În condițiile arătate, muncitorul care manevrează scula portativă poate fi accidentat numai dacă o fază este pusă la pământ printr-un defect de izolație, concomitent cu punerea carcasei sculei la potențialul altei faze (fig. 12.22). O asemenea coincidență este foarte puțin probabilă, mai ales dacă izolația cablului de alimentare a sculei este verificată periodic.

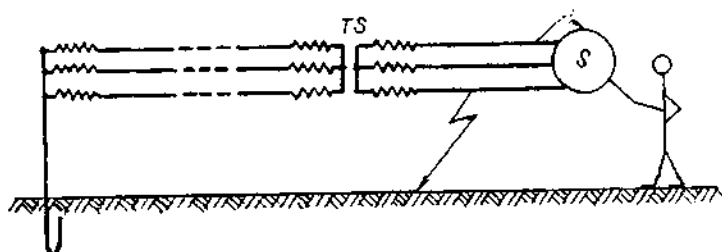


Fig. 12.22. Pericol de accidentare în cazul folosirii separării de protecție; TS — transformator de separare; S — sculă portativă

Transformatoarele de separație se realizează cu raport de transformare de 1:1, fără a depăși însă tensiunea secundară de 380 V. Cel puțin secundarul lor este prevăzut cu izolație suplimentară de protecție. Uneori în locul transformatoarelor se utilizează grupuri motor-generator.

12.2.6. PROTECȚIA PRIN EGALIZAREA ȘI DIRIJAREA POTENȚIALELOR

S-a arătat (v. par. 12.2.2.1.) că legarea tuturor pieselor metalice care se găsesc într-o anumită zonă prin elemente conductoare de electricitate asigură micșorarea considerabilă a pericolului de accidentare; dacă legăturile de egalizare au o rezistență suficient de mică, tensiunea electrică dintre elementele pe care le unesc scade sub limita periculoasă.

Măsura de protecție prin egalizarea potențialelor nu este întotdeauna suficientă. Acest lucru rezultă clar din faptul că, în cazul scurgerii unui curent de defect prin pământ, potențialul diferitelor puncte de pe suprafața pământului este diferit de cel al prizelor de pământ; de aceea pot rezulta tensiuni de atingere și de pas periculoase (v. subcap. 3.11.)

În cazul unei prize de pământ formate dintr-o placă metalică de suprafață mare așezată la nivelul solului (fig. 12.23), tensiunea de atingere în oricare punct din limitele plăcii este nulă; tot nulă este și tensiunea de pas în aceeași zonă. Rezultă că în limitele plăcii pericolul de accidentare este exclus, pentru că potențialul fiecărui punct al pardoselii în această zonă este impus (dirijat).

În practică, măsura de protecție prin dirijarea potențialelor se realizează prin intermediul unor prize de pământ de suprafață, executate din oțel rotund sau oțel lat. Electrozii sînt dispuși în formă de inel, de pătrat, dreptunghi sau plasă cu ochiuri de diferite mărimi. În interior priza este de forma unei inserții prevăzute în pardoseală și legată la instalația de legare la pământ de protecție din încăperea respectivă; în exterior priza orizontală este îngropată în stratul superficial al solului și legată de asemenea la priza de pământ care protejează utilajele.

Datorită contactului pe care îl au cu solul, instalațiile de dirijare a potențialului reprezintă ele însele niște prize de pământ; de aceea, instalarea unor

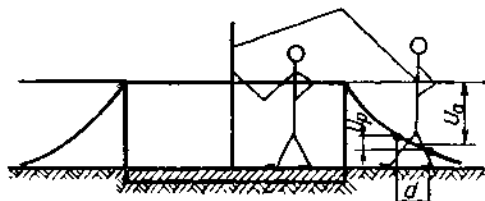


Fig. 12.23. Tensiunile de atingere și de pas la trecerea curentului electric prin pământ în cazul unei prize plane așezate la suprafața solului

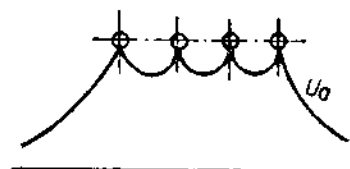


Fig. 12.24. Alura de variație a tensiunii de atingere în cazul instalațiilor reale de dirijare a potențialelor

prize de pământ suplimentare în paralel cu prizele de dirijare a potențialelor este necesară numai cînd rezistența acestora din urmă depășește valoarea admisă.

Întrucît priza de dirijare a potențialelor nu se prezintă sub formă de placă continuă, potențialul la nivelul solului va fi variabil (fig. 12.24); cu cît distanța dintre elementele prizei va fi mai mică, cu atît tensiunile de atingere și de pas vor cunoaște variații mai mici.

12.2.7. PROTECȚIA PRIN DECONECTAREA AUTOMATĂ A SECTORULUI DEFECT

Această măsură de protecție reprezintă aplicarea în domeniul tehnicii securității muncii a metodelor de protecție prin relee, descrise în principiu în capitolul 8. Protecția prin deconectarea automată a sectorului defect se extinde astăzi din ce în ce mai mult, utilizarea ei urmînd să se facă în viitor pe o scară tot mai largă.

Trebuie observat însă că dintre numeroasele scheme de protecție care pot fi imaginate și care au fost propuse, numai relativ puține au primit aplicare prac-

tică; unele scheme nu sînt justificate sub aspect tehnic și economic, altele, la o analiză atentă, s-au dovedit a fi ele însele o sursă de pericole de accidentare. De aceea, alegerea schemei de protecție trebuie făcută cu multă precauțiune.

Schemele de protecție cunoscute pot fi grupate în două categorii principale:

- protecția automată care acționează la apariția unor tensiuni de atingere periculoase (*P.A.T.A.*);
- protecția automată care acționează la apariția unor curenți de defect periculoși (*P.A.C.D.*).

12.2.7.1. Protecția automată în cazul apariției tensiunii de atingere (*P.A.T.A.*). Instalația *P.A.T.A.*

determină scoaterea de sub tensiune a utilajului defect în momentul în care între carcasa acestuia și pămînt apare o tensiune de atingere periculoasă. Decolectarea este comandată de către un releu de tensiune legat între carcasă și pămînt.

Figura 12.25 prezintă schema de principiu a *P.A.T.A.* Motorul electric este alimentat prin contactorul *K*, în al cărui circuit de comandă sînt intercalate în serie și contactele normal închise ale releului de tensiune *RT*; acest releu este conectat între carcasa motorului și priza de pămînt *R_p*. În momentul în care carcasa ajunge sub tensiunea unei faze, datorită unui defect, releul *RT* este acționat, determinînd deschiderea circuitului de comandă a contactorului *K* și prin aceasta scoaterea de sub tensiune a motorului. Pentru controlul corectei funcționări a instalației de protecție se apasă butonul *B*: prin aceasta se închide circuitul: faza *T* — rezistență de limitare *RL* — buton *B* — releu *RT* — priza de pămînt *R_p* ≤ 50 Ω și dacă aceste elemente, împreună cu conductorul de legătură, sînt în stare bună de funcționare, releul *RT* declanșează.

Priza de pămînt *R_p* trebuie să fie executată într-o zonă de potențial nul (la cel puțin 20 m distanță de prizele de pămînt naturale sau artificiale la care sînt legate direct sau indirect carcusele utilajelor electrice). În caz contrar, tensiunea aplicată releului *RT* în caz de defect (tensiunea de atingere) poate să nu fie suficient de mare pentru a determina declanșarea. Evident, conductorul de legătură la priza de pămînt trebuie să fie izolat cu multă grijă față de conductorul de protecție general, carcasa utilajului și față de sol.

În cazul rețelelor cu neutrul izolat, curentul care trece prin bobina *RT* se închide prin rezistențele de izolație. Pentru ca protecția să acționeze este necesar ca aceste rezistențe să fie suficient de mici, adică lungimea rețelei să fie su-

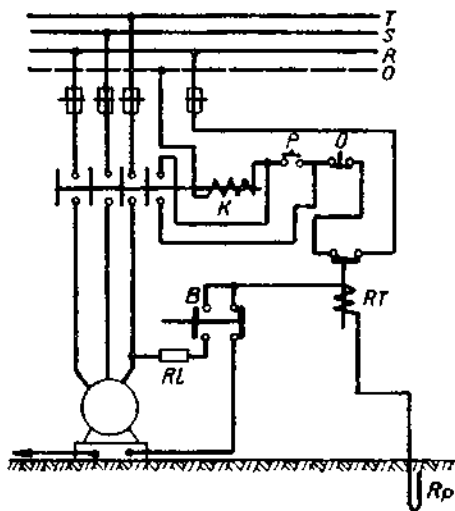


Fig. 12.25. Schema de principiu a *P.A.T.A.*

ficient de mare (se apreciază o lungime minimă necesară de 1 000 m pentru rețele de 220 V și de 600 m pentru rețele de 380 V).

Sistemul trebuie să asigure un timp de deconectare sub 0,2 s.

12.2.7.2. Protecția automată în cazul apariției curentului de defect periculos (P.A.C.D.). Protecția care acționează la apariția curentului de defect se realizează ca *protecție diferențială* (v. par. 8.2.4) sau *protecție ce acționează la componența omopolară a curentului*.

Protecția diferențială se realizează ca protecție longitudinală, datorită lungimilor relativ reduse care intervin. Figura 12.26 ilustrează modul de realizare

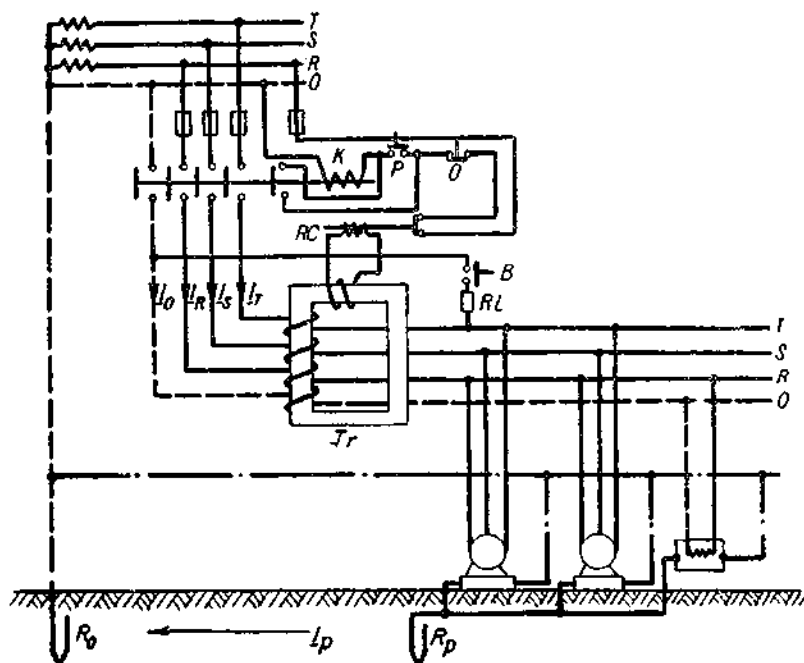


Fig. 12.26. Protecția diferențială într-o rețea cu neutrul legat la pământ

a acestui tip de protecție pentru cazul unor utilaje alimentate dintr-o rețea legată la pământ. Funcționarea instalației de protecție se bazează pe transformatorul T_r , prevăzut cu cinci înfășurări dintre care patru (cele plasate pe coloana din stînga) sînt identice. Cele patru înfășurări sînt străbătute respectiv de cei trei curenți de fază și de curentul prin conductorul de lucru. Dacă w este numărul de spire ale uneia dintre înfășurări, solenația rezultantă pentru cele patru bobine este:

$$\underline{F}_r = w\underline{I}_R + w\underline{I}_S + w\underline{I}_T - w\underline{I}_0 = w(\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T - \underline{I}_0). \quad (12-30)$$

Cît timp nu s-a produs vreo defecțiune :

$$\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T = \underline{I}_0, \quad (12-31)$$

asa încît $F_r = 0$ și deci prin miezul transformatorului Tr fluxul magnetic este nul. În momentul în care apare punerea la pămînt a unei faze, egalitatea (12-31) își pierde valabilitatea ; ea trebuie înlocuită prin :

$$\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T = \underline{I}_0 + \underline{I}_p, \quad (12-32)$$

unde $\underline{I}_p$ este curentul care se închide prin pămînt. În acest caz deci $F_r = w \underline{I}_p$, adică miezul Tr este străbătut de un flux magnetic care induce tensiunea în cea de-a cincea bobină a transformatorului, care excită rețeaua de curent RC , scoțindu-se în acest fel de sub tensiune rețeaua de alimentare prin intermediul contactorului K . Transformatorul Tr realizează deci comparația curentului de la intrare în rețea ($\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T$) cu curentul de la ieșire ($\underline{I}_0 + \underline{I}_p$), ceea ce justifică denumirea de protecție diferențială longitudinală.

În vederea verificării instalației de protecție, prin apăsarea pe butonul B se stabilește un curent suplimentar $\underline{I}_p$, a cărui intensitate se limitează la valoarea pentru care este reglat sistemul de protecție cu ajutorul rezistenței RI .

Schema din figura 12.26 nu asigură selectivitatea protecției, întrucît la producerea atingerii se declanșează toate receptoarele, indiferent care din ele este defect. Selectivitatea se poate realiza alimentînd fiecare receptor peste cîte un transformator Tr propriu.

Scheme asemănătoare celei din figura 12.26 se pot realiza și pentru cazul în care utilajele au carcasele legate la o rețea de nul de protecție.

Protecția ce acționează la componenta omopolară a curentului are ca element constructiv de bază un filtru de componentă omopolară. Se știe că prin componenta omopolară a unui sistem de trei curenți $\underline{I}_R, \underline{I}_S, \underline{I}_T$ se înțelege curentul :

$$\underline{I}_h = \sqrt{\frac{1}{3}} (\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T). \quad (12-33)$$

În figura 12.27 sînt prezentate schemele unor filtre adesea folosite. În schema cu trei transformatoare de curent identice (fig. 12.27, *a*), curenții secundari sînt $k\underline{I}_R, k\underline{I}_S, k\underline{I}_T$ — k fiind raportul de transformare ; se vede că $\underline{I}_h = k(\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T)$, adică proporțional cu valoarea din relația (12-33). În transformatorul cu miez comun (fig. 12.27, *b*) ținînd seama de faptul că miezul funcționează nesaturat, fluxul magnetic prin miez este proporțional cu solenația $w(\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T)$; întrucît tensiunea U_{ab} este proporțională cu fluxul, dacă această se aplică unei impedanțe constante *, curentul $\underline{I}_h$ este de asemenea proporțional cu curentul omopolar (12-33). Transformatorul din figura 12.27, *c* este asemănător cu cel din figura 12.27, *b*, cu mențiunea că $w=1$.

În figura 12.28 se prezintă schema $P.A.C.D.$, cu filtru de componentă omopolară. Acțiunea de protecție se explică în felul următor : cît timp utilajul este

* Impedanța pe care debitează transformatorul este foarte mică, pentru că aceasta funcționează în regim apropiat de regimul de scurtcircuit, ca orice transformator de curent.

în bună stare, suma curenților pe cele trei faze, deci componenta omopolară a lor este nulă; în momentul în care apare un defect, curentul pe una din faze crește, sistemul de curenți se dezechilibrează, apare componenta omopolară care, prin intermediul releului de curent RC , deconectează utilajul defect.

12.2.8. MIJLOACE INDIVIDUALE DE PROTECȚIE

Mijloacele individuale de protecție sînt utilizate de către persoanele care, prin atribuțiile lor, lucrează direct asupra elementelor bune conducătoare de electricitate, care fac parte din circuitele curenților de lucru.

În scopul reducerii la minimum a pericolului de accidentare este necesar să se folosească separat sau concomitent următoarele:

- *mijloace de protecție izolante*, care reprezintă rezistențe de valoare foarte mare introduse în serie cu corpul omenesc. Astfel: cisme, galoși, covorașele și preșurile din cauciuc electroizolant, platformele izolante reprezintă mijloace care izolează omul față de pământ; mănușile de cauciuc, sculele cu mîner izolant, prăjinile izolante etc. izolează omul față de elementele sub tensiune;

- *indicatoare de tensiune*, cu care se verifică prezența sau lipsa tensiunii;

- *garnituri mobile de scurtcircuitare și legare la pământ*, care asigură protecția împotriva tensiunilor induse, a descărcării sarcinilor electrice înmagazinate în capacitatea dintre elementele conductoare sau dintre acestea și pământ. Totodată, ele protejează în mod sigur împotriva apariției tensiunii la locul de lucru datorită unei conectări greșite;

- *îngrădiri provizorii* (mobile), care protejează personalul împotriva atingerii accidentale a elementelor aflate sub tensiune din apropierea locului de muncă;

- *plăci avertizoare*, care previn asupra existenței unor pericole, care interzic unele manevre ce ar putea duce la accidente sau indică anumite măsuri ce trebuie luate.

12.3. VERIFICAREA INSTALAȚIILOR DE PROTECȚIE

Instalațiile de protecție împotriva tensiunilor de atingere și de pas trebuie verificate înainte de darea lor în exploatare (la recepționare), periodic, în cursul exploatarei, precum și ori de cîte ori se efectuează vreo reparație la echipamentele electrice sau la instalația de protecție. Verificările permit să se tragă concluzii asupra eficacității și siguranței în exploatare oferite de instalațiile de protecție.

Verificările periodice se efectuează la instalațiile de protecție cel puțin o dată pe an, vara, cînd pămîntul este uscat, sau iarna, cînd pămîntul este înghețat

(deci în condițiile în care rezistivitatea solului este maximă); personalul care lucrează la diferite utilaje electrice trebuie să controleze vizual conductoarele de ramificație și contactele la utilaje înainte de a începe lucrul; continuitatea conductoarelor de legare la pământ principale și contactele aferente se vor controla cel puțin o dată pe lună.

12.3.1. MĂSURAREA REZISTENȚEI PRIZELOR DE PĂMÎNT

În vederea măsurării rezistenței prizei de pământ, aceasta se separă de restul instalației de protecție. Trebuie observat că valoarea maximă impusă prin norme a rezistenței prizei de pământ constă din suma rezistențelor prizei propriu-zise și a conductoarelor de legătură dintre priză și utilajul cel mai îndepărtat (conductorul de legătură de la priză la conductorul principal și conductorul de ramificație).

Măsurarea se execută în curent alternativ, pentru evitarea tensiunilor suplimentare de polarizare care ar putea apare în cazul măsurării în curent continuu.

Principiul măsurării rezistenței prizei de pământ prin metoda voltmetrului și a ampermetrului rezultă din figura 12.29. În afară de priza de rezistență necunoscută R_x se folosesc o priză auxiliară R_A și o priză sondă R_S . Prizele R_x și R_A se alimentează de la o sursă oarecare, măsurându-se intensitatea curentului care le străbate, I ; priza sondă se instalează într-un punct oarecare de potențial nul, permițând măsurarea tensiunii prizei de pământ U_p ; rezistența prizei de pământ se calculează cu relația:

$$R_x = \frac{U_p}{I} \quad (12-34)$$

Pentru ca precizia măsurării să fie suficient de mare, rezistența R_s trebuie să fie neglijabilă în raport cu cea a voltmetrului R_v ; în caz contrar, R_x se calculează cu relația:

$$R_x = \frac{U_v}{I} \left(1 + \frac{R_s}{R_v} \right), \quad (12-34')$$

unde U_v este tensiunea indirectă de voltmetru.

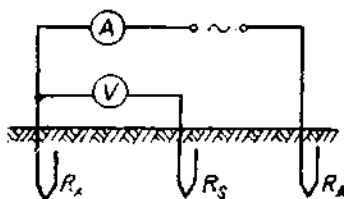


Fig. 12.29. Măsurarea rezistenței prizei de pământ cu ajutorul voltmetrului și ampermetrului

Metoda celor trei măsurări necesită de asemenea două prize suplimentare R_A și R_S (fig. 12.30); cele trei prize trebuie așezate la distanțe suficient de mari, astfel ca între ele să existe zone de potențial nul. Rezistențele determinate în cadrul celor trei măsurări sînt:

$$R_1 = R_x + R_A; \quad R_2 = R_s + R_A; \quad R_3 = R_x + R_s, \quad (12-35)$$

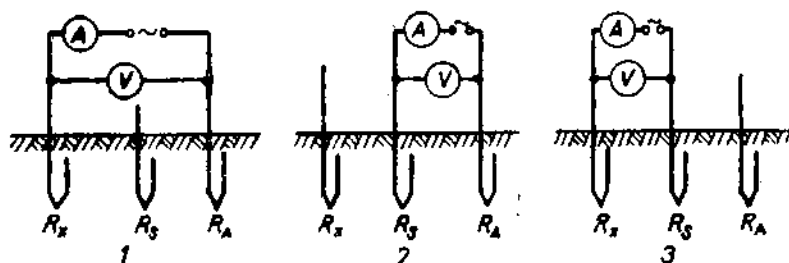


Fig. 12.30. Schema celor trei măsurări

de unde rezultă :

$$R_x = \frac{1}{2} (R_1 - R_2 + R_3); \quad R_s = \frac{1}{2} (-R_1 + R_2 + R_3); \quad R_A = \frac{1}{2} (R_1 + R_2 - R_3). \quad (12-35')$$

Trebuie remarcat faptul că, în locul ampermetrului și voltmetrului, pentru măsurarea rezistențelor se pot folosi și punțile de măsurare.

12.3.2. MĂSURAREA TENSIUNILOR DE ATINGERE ȘI DE PAS

Pentru măsurarea tensiunilor de atingere și de pas este necesar ca instalația de protecție să se pună în mod voit în condițiile reale de defect. În acest caz, tensiunea de atingere se măsoară între punctul respectiv și utilaj, iar tensiunea de pas — între doi electrozi sondă așezați pe sol sau pe pardoseală; electrozii au suprafața de contact cu solul de cel puțin 6 dm² și vor fi presăși cu o forță de cel puțin 500 N. Locul unde se așează sondele trebuie umezit în prealabil, de asemenea se iau măsuri ca suprafața electrozilor să se adapteze cât mai bine denivelărilor pardoselii.

Măsurarea se realizează cu ajutorul unui voltmetru cu rezistență interioară de 3 000 Ω — valoarea rezistenței corpului omenesc; dacă rezistența voltmetrului r_v este mai mare, acesta se șuntează cu o rezistență r , de valoare :

$$r = \frac{3\,000}{1 - \frac{3\,000}{r_v}}, \quad (12-36)$$

astfel încît rezistența echivalentă să fie cea a corpului omenesc, de 3 000 Ω .

În cazul instalațiilor de joasă tensiune, determinarea tensiunilor de atingere și de pas se poate face de cele mai multe ori prin măsurări directe, utilajul de verificat fiind pus sub tensiunea rețelei. Valorile tensiunilor de atingere și de pas indicate de voltmetru vor fi în acest caz valorile reale.

Pentru instalațiile de înaltă tensiune, măsurările directe sînt periculoase, de aceea, în asemenea cazuri, se recurge la măsurări indirecte. În acest scop se realizează un montaj asemănător cu cel folosit pentru măsurarea rezistenței prizei de pămînt (fig. 12.29), alimentat cu o tensiune joasă.

Figura 12.31 arată modul de lucru : figura 12.31, a prezintă circuitul format din utilajul de verificat M și priza auxiliară R_A , prin care se închide un curent a cărui intensitate este măsurată de ampermetrul A ; voltmetrul V , care are

rezistența interioară de cel puțin $3\,000\ \Omega$, măsoară tensiunea U'_p dintre utilajul M și zona de potențial nul, în care este introdusă sonda R_s .

În figura 12.31, *b* se arată modul de determinare a tensiunii de atingere U'_a , atunci cînd priza sondă E se găsește la 1 m distanță de utilajul M , iar în figura 12.31, *c* — modul de determinare a tensiunii de pas U'_{pas} rezultată ca diferența tensiunilor de atingere măsurate cînd sonda se găsește în poziția 1, respectiv 2.

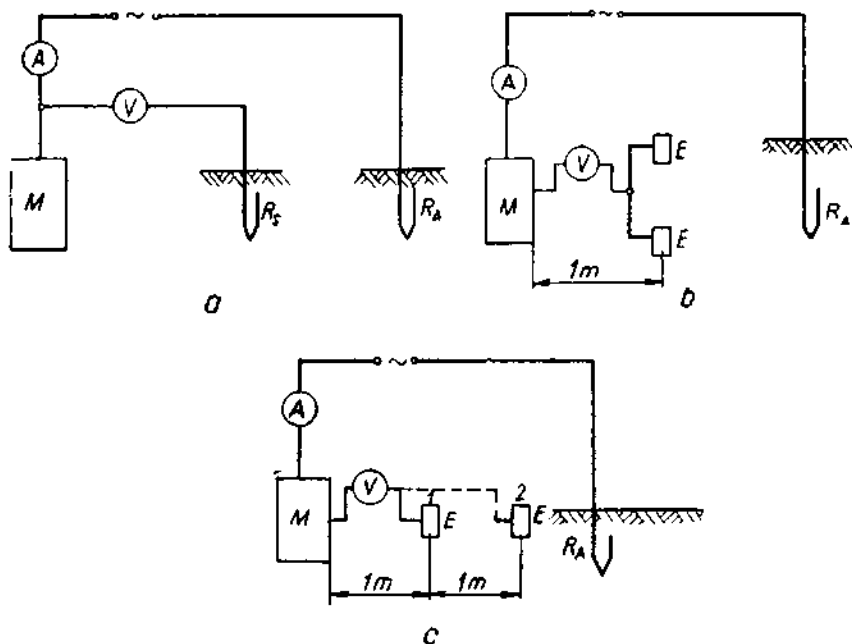


Fig. 12.31. Schemele de măsurare indirectă a coeficienților de atingere și de pas: M — elementul supus verificării; R_A — priză de pământ auxiliară; R_s — priză sondă; E — electrozi în contact cu solul; A — ampermetru; V — voltmetru

Cu ajutorul ampermetrului A se asigură ca în cazul măsurărilor efectuate în cele trei montaje din figura 12.31 intensitatea curentului prin circuit să fie aceeași.

Cele trei măsurări permit determinarea coeficientului de atingere k_a și a coeficientului de pas k_p , definite prin raporturile:

$$k_a = \frac{U_a}{U_p} = \frac{U'_a}{U'_p}, \quad k_p = \frac{U_{pas}}{U_p} = \frac{U'_{pas}}{U'_p}. \quad (12-37)$$

Tensiunile reale de atingere U_a și de pas U_{pas} se vor aprecia cu relațiile:

$$U_a = k_a U_p, \quad U_{pas} = k_p U_p, \quad (12-38)$$

unde U_p este tensiunea sub care poate să se afle elementul supus verificării în condițiile reale de defect.

12.3.3. MĂSURAREA REZISTENȚELOR DE IZOLAȚIE

În practica industrială pentru măsurarea rezistențelor de izolație se utilizează aparate denumite *ohmmetre* sau, datorită valorilor relativ ridicate ale rezistențelor măsurate, *megohmmetre*.

Schema *megohmmetrului cu baterie* este reprezentată în figura 12.32. Megohmmetrul constă, în esență, dintr-un circuit compus dintr-o baterie de 4,5...18V în serie cu o rezistență R și un galvanometru G ; între bornele B_1 și B_2 se intercalează rezistența de măsurat R_x . Etalonarea aparatului se face în felul următor: bornele B_1 și B_2 se scurtcircuitază (deci $R_x=0$), iar rezistența R se alege

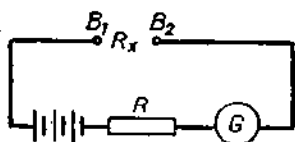


Fig. 12.32. Schema megohmmetrului cu baterie

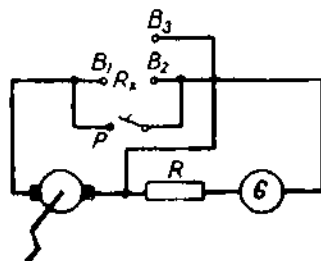


Fig. 12.33. Schema megohmmetrului cu generator

astfel încît acul aparatului de măsură să devieze la maximum pentru valoarea nominală a t.e.m. a bateriei. Apoi se introduc între bornele B_1 și B_2 diferite rezistențe de valoare R_x cunoscute, însemnîndu-se pozițiile corespunzătoare ale acului indicator pe cadran cu valorile rezistențelor respective: în acel fel, aparatul este gradat direct în Ω sau $M\Omega$. La măsurare, în prealabil bornele B_1 și B_2 se scurtcircuitază și se manevrează șuntul magnetic al galvanometrului G pînă cînd acul indică valoarea zero; apoi se introduce rezistența de măsurat R_x și se citește valoarea ei pe cadran.

Megohmmetrul cu generator permite măsurarea rezistenței de izolație sub o tensiune mai mare, ceea ce mărește precizia măsurării. Schema sa de principiu se aseamănă cu cea a megohmmetrului cu baterie; bateria este înlocuită cu un generator de curent continuu antrenat cu ajutorul unei manivele (figura 12.33).

Pentru măsurarea unei rezistențe R_x , aceasta se leagă între bornele B_1 și B_2 , apoi aceste borne se scurtcircuitază cu ajutorul butonului P și se rotește manivela cu o turație astfel potrivită încît acul aparatului să indice valoarea zero pe cadran. Rotind manivela în continuare cu aceeași turație, butonul P se eliberează, introducîndu-se astfel rezistența R_x în circuit; acul galvanometrului se va opri în dreptul diviziunii care marchează valoarea R_x .

Aparatul poate fi utilizat și ca voltmetru, între bornele B_2 și B_3 .

Megohmmetrul logometric cu generator, în comparație cu megohmmetrul cu generator descris mai sus, prezintă avantajul că indicația sa nu depinde de

tensiunea aplicată, deci de turația manivelei*. Aparatul constă dintr-un generator rotit cu ajutorul unei manivele, care alimentează cele două circuite ce conțin bobinele încrucișate ale unui logometru magnetoelectric (fig. 12.34). Dacă U este tensiunea generatorului, curenții care străbat bobinele b_1 și b_2 ale logometrului sînt :

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2 + R_x} \quad (12-37)$$

În poziția de echilibru a echipajului mobil al aparatului, cele două cupluri antagoniste, care sînt proporționale cu curenții I_1 și I_2 , sînt egale, deci :

$$K_1 \frac{U}{R_1} = K_2 \frac{U}{R_2 + R_x} \quad (12-38)$$

de unde :

$$\frac{R_2 + R_x}{R_1} = \frac{K_2}{K_1} = f(\alpha), \quad (12-38')$$

independent de U . Se vede că deviația α a acului depinde de valoarea lui R_x , R_1 și R_2 fiind rezistențe fixe montate în aparat.

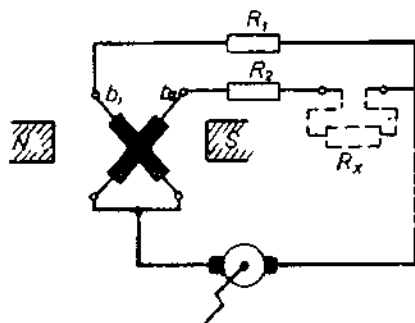


Fig. 12.34. Schema megohmmetrului logometric cu generator

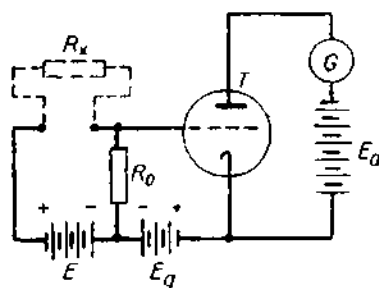


Fig. 12.35. Schema megohmmetrului electronic : E_a — baterie anodică ; E_g — baterie de negativare ; E — baterie auxiliară ; G — galvanometru ; T — tub electronic ; R_0 — rezistență fixă ; R_x — rezistență de măsurat

Megohmmetrul electronic este destinat măsurării rezistențelor de izolație foarte mari (de peste 10 000 MΩ). Schema de principiu a acestui aparat este înfățișată în figura 12.35. Aparatul de măsură G este montat în circuitul anodic al unui tub electronic T ; curentul anodic măsurat de galvanometru G depinde de tensiunea de grilă, care se compune din tensiunea fixă E_g și căderea de tensiune pe rezistența fixă R_0 . Această cădere de tensiune este funcție de intensitatea curentului ce străbate circuitul format din rezistențele R_0 și R_x , conectate în serie ; în concluzie, indicația galvanometrului G depinde de valoarea rezistenței R_x .

* Turația trebuie însă să fie suficient de mare pentru ca să nu apară erori mari datorite frecărilor.

ANEXE

ANEXA I

A. CARACTERISTICILE PRINCIPALE ALE SURSELOR LUMINOASE FABRICATE ÎN ROMÂNIA

a. Lămpi incandescente

Wați	Volți	Soclu	Dimensiuni [mm]		Flux luminos nominal [lm]		
			Ø	lung.	120 V	220 V	230 V
15	120-230	E 27/27	60	110	120	105	105
25					217	205	205
40	120-230				435	415	415
60	120-230				760	715	710
75	120-230				1 000	950	940
100	120-230				1 400	1 350	1 340
150	120-230		80	148	2 320	2 090	2 070
200	120-230			165	3 250	2 920	2 900
300	120-230	E 40/45	110	240	4 680	4 287	4 260
500	120-230		130	275	8 200	7 700	7 672
750	120-230	E 40/65×50	150	309	12 600	11 780	11 550
1 000	120-230				17 700	17 300	17 200

ANEXA 1 (continuare)

b. Lămpi fluorescente (tubulare)

Tipul lămpii	Puterea [W]	Curentul prin lampă [A]	Fluxul luminos [lm]	Culoarea		Culoarea nominală și temperatura de culoare
				Coordonate tricromatice		
				x	y	
LFA 14/1X LFA 20/1 X LFA 40/1 X	14 20 40	0,39 0,37 0,43	430 820 2 120		0,324	Alb lumina zi- lei corectat (1X) 6 500°K
LFA 65/1 X*	65	0,67	3 300	0,313	0,326	
LFR 40/1 X**	40	0,43	2 000	0,314	0,324	
LFA 14/2 LFA 20/2 LFA 40/2	14 20 40	0,39 0,37 0,43	580 1 080 2 800	0,368	0,371	Alb (2) 4 300°K
LFA 65/2	65	0,67	4 400	0,367	0,373	
LFR 40/2	40	0,43	2 650	0,368	0,371	
LFA 14/2 X LFA 20/2 X LFA 40/2 X	14 20 40	0,39 0,37 0,43	360 700 1 750	0,384	0,368	Alb superior (2X) 3 800°K
LFA 65/2 X	65	0,67	2 800	0,383	0,371	
LFR 40/2 X	40	0,43	1 680	0,384	0,368	
LFR 14/3 LFA 20/3 LFA 40/3	14 20 40	0,39 0,37 0,43	590 1 080 2 800	0,435	0,401	Alb cald (3) 3 000°K
LFA 65/3	65	0,67	4 400	0,433	0,403	
LFR 40/3	40	0,43	2 650	0,435	0,401	
LFA 14/3 X LFA 20/3 X LFA 40/3 X	14 20 40	0,39 0,37 0,43	390 750 1 880	0,439	0,400	Alb cald supe- rior (3X) 2 900°K
LFA 65/3 X	65	0,67	3 000	0,438	0,403	
LFR 40/3 X	40	0,43	1 780	0,439	0,400	

* LFA — lampă fluorescentă cu aprindere prin starter.

** LFR — lampă fluorescentă cu aprindere directă (cu montaj de rezonanță).

ANEXA I (continuare)

c. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune și balonul fluorescent

Caracteristici tehnice	U.M.	Tipul (simbolul) lămpii			
		LVF 80	LVF 125	LVF 250	LVF 400
Puterea nominală	W	80	125	250	400
Fluxul luminos inițial minim	lm	2 590	4 675	9 985	17 000
Durata nominală	h	6 000	6 000	6 000	6 000
Lungimea maximă inclusiv soclu	mm	165	184	227	292
Diametrul maxim	mm	81	91	91	122
Soclu	—	E 27/30	E 27/30	E 40/45	E 40/45
Tensiunea de amorsare	V	180	180	180	180
Curentul de stabilizare a regimului	A	0,68	0,98	1,83	2,76
Tensiunea minimă pe lampă la sfârșitul stabilizării regimului	V	85	93	98	102
Durata maximă de stabilizare a regi- mului	min	8	8	8	12
Balastul utilizat	—	BVA 80	BVA 125	BVA 250	BVA 400

B. CORPURI DE ILUMINAT INTERIOR

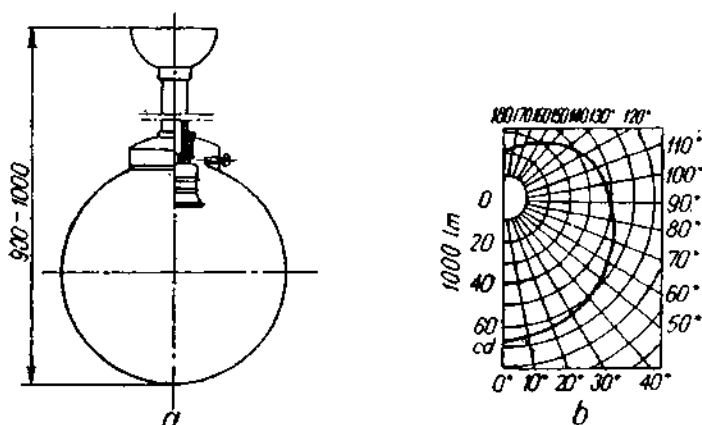
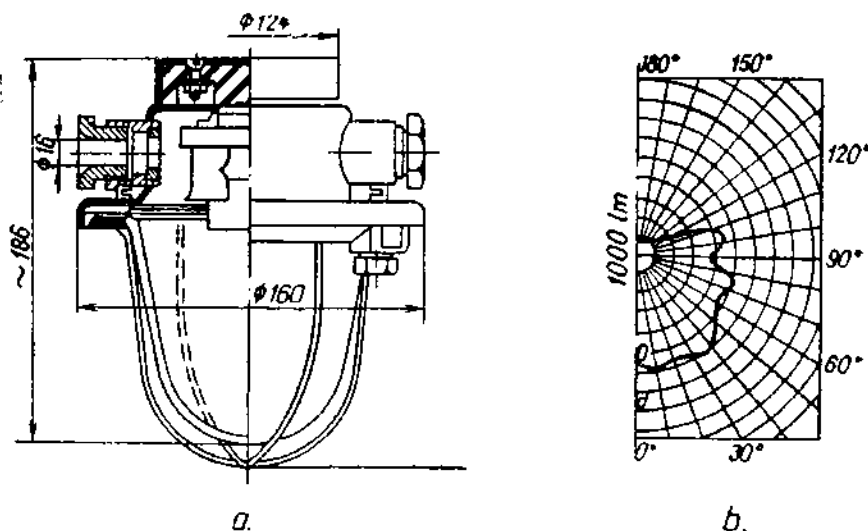
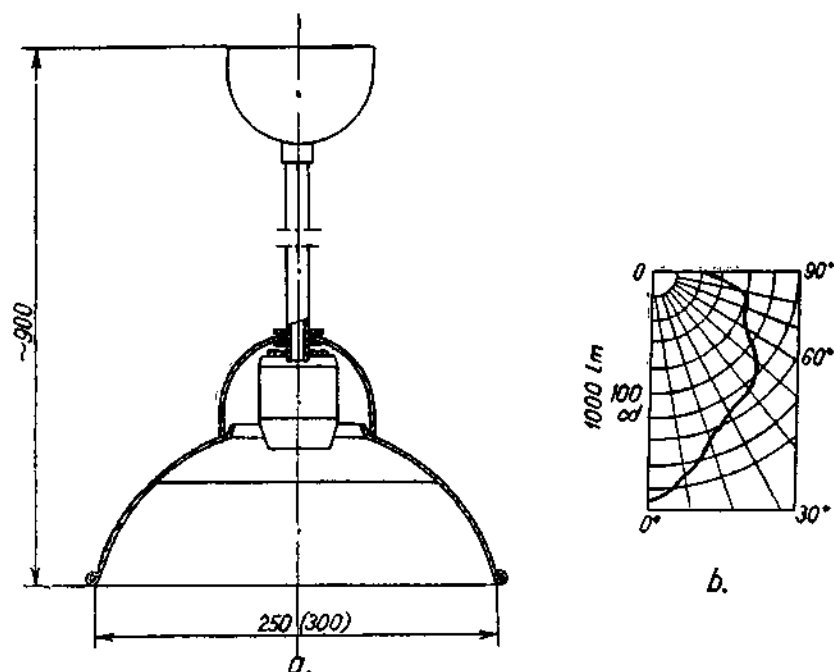


Fig. 1.B.1 Corp de iluminat incandescent tip pendulă cu glob opal fabricat pentru 60, 100, 150, 200 W:

a — detaliu; b — curba fotometrică



ANEXA 1 (continuare)

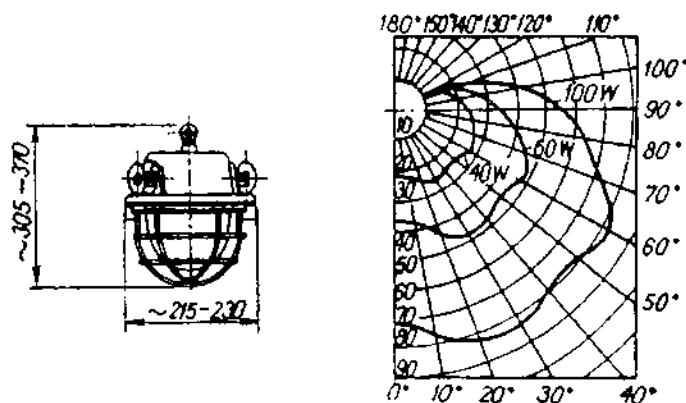


Fig. 1.B.4. Corp de iluminat incandescent antigrizutos și anti-exploziv cu siguranță mărită tip LMS, clasă de protecție IP 54, pentru lămpi de 40—200 W:

a — detaliu ; b — curba fotometrică

Tip	Grupa de aprindere			
	A	G ₁	G ₂	G ₃
LMS-7 101—102	100 W	100 W	60 W	40 W
LMS-7 200	200 W	200 W	60 W	40 W

ANEXA 1 (continuare)

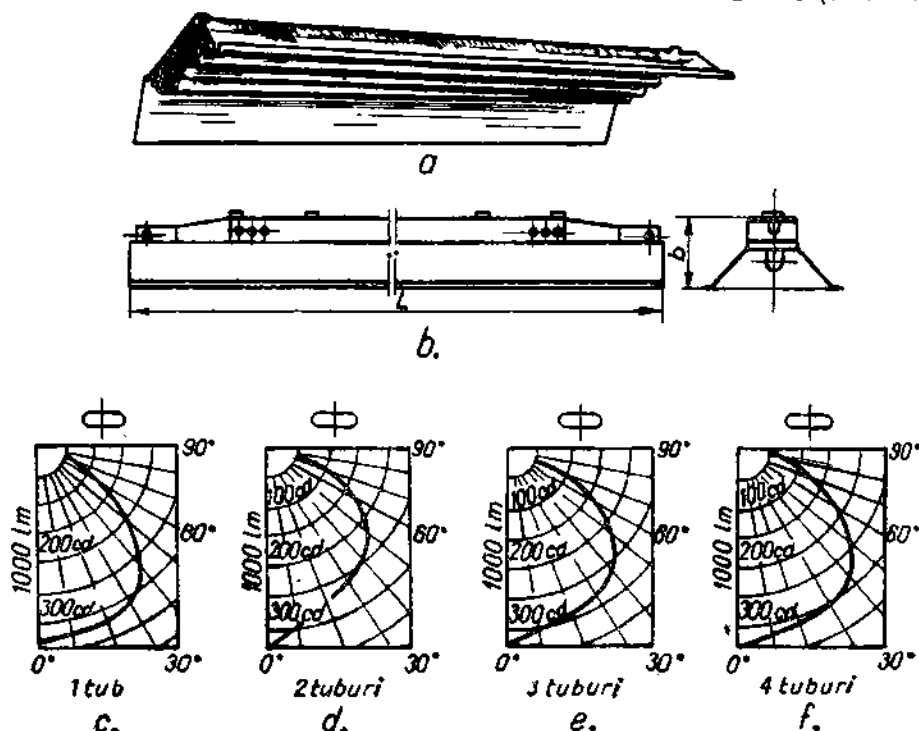


Fig. 1.B.5. Corp de iluminat fluorescent de tip industrial CIA pentru lămpi de 40 și 65 W

a — ansamblu; b — detaliu; c — curba fotometrică pentru un corp cu 1 tub; d — idem, cu 2 tuburi; e — idem, cu 3 tuburi; f — idem, cu 4 tuburi

Tip	Numărul și puterea	Dimensiuni			
		L—mm	l—mm	a—mm	b—mm
CIA-140	1×40 W	1225,5	880	250	115
CIA-240	2×40 W	1225,5	880	250	115
CIA-340	3×40 W	1225,5	880	430	165
CIA-440	4×40 W	1225,5	880	430	165
CIA-165	1×65 W	1556,5	1 180	250	115
CIA-265	2×65 W	1556,5	1 180	250	115
CIA-365	3×65 W	1556,5	1 180	430	115

ANEXA I (continuare)

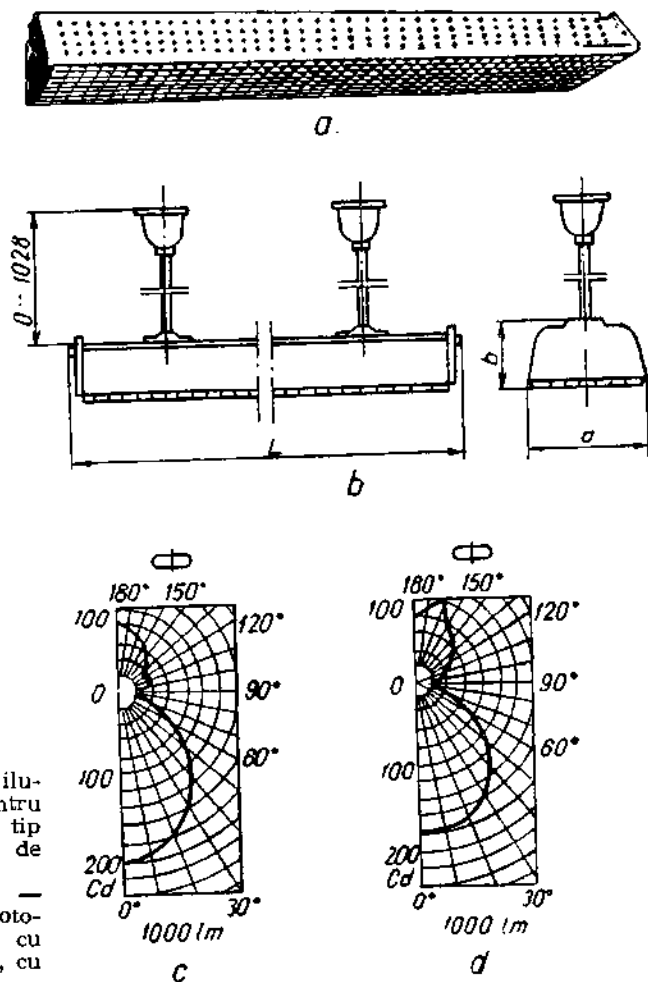
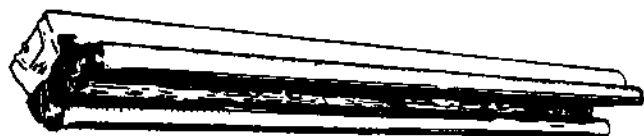


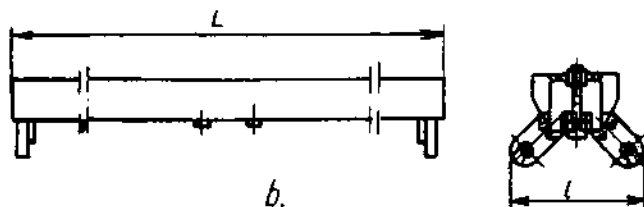
Fig. 1.B.6. Corp de iluminat fluorescent pentru construcții civile tip CGC pentru lămpi de 20, 40 și 65 W
 a — ansamblu; b — detaliu; c — curba fotometrică pentru corp cu 2 tuburi; d — idem, cu 4 tuburi

Tip	Numărul și puterea	Dimensiuni		
		L—mm	a—mm	b—mm
CGC-220	2×20 W	627	266	127
CGC-420	4×20 W	627	321	141
CGC-240	2×40 W	1 237	266	127
CGC-440	4×40 W	1 237	321	141
CGC-265	2×65 W	1 537	266	127

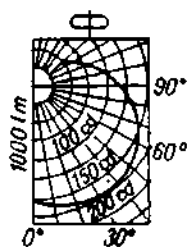
ANEXA 1 (continuare)



a.

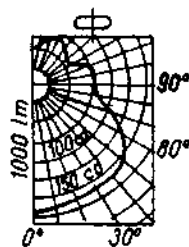


b.



1 tub

c.



2 tuburi

d.

Fig. 1.B.7. Corp iluminat fluorescent pentru utilizări generale tip CGA pentru lămpi de 20, 40 și 65 W :

a — ansamblu ; b — detaliu ; c — curba fotometrică pentru corp cu 1 tub ; d — idem, cu 2 tuburi

Tip	Lampa		Dimensiuni	
	Putere	Nr.	L—mm	l—mm
CGA—120	20 W	1	618	84
CGA—220	20 W	2	618	130
CGA—140	40 W	1	1 129	84
CGA—240	40 W	2	1 129	130
CGA—165	65 W	1	1 529	84
CGA—265	65 W	2	1 529	130

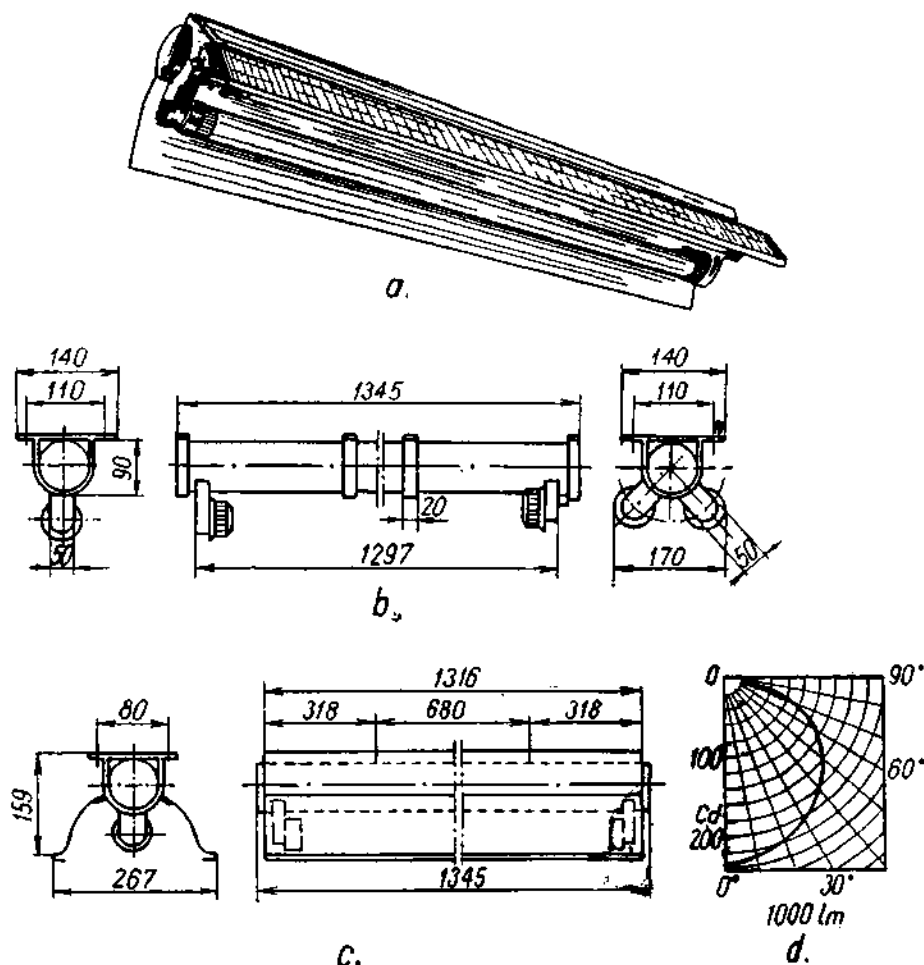


Fig. 1.B.8. Corp de iluminat fluorescent etanș tip CPA, CPB pentru lămpi de 40 W (cu 1 și 2 tuburi):

a — ansamblu tip CPB-240; b — detalii tip CPA-140 și CPB-240; c — detalii tip CPB-140; d — curba fotometrică pentru corp CPB-140

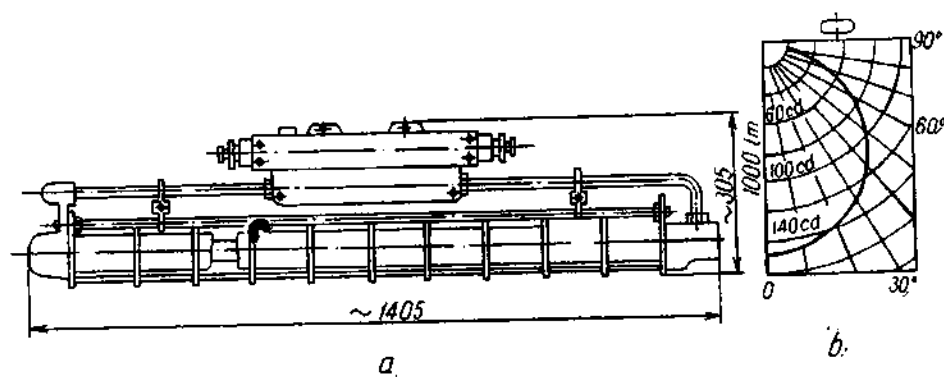


Fig. 1.B.9. Corp de iluminat fluorescent antiexploziv tip CFS-140 pentru 1 tub de 40 W:

a — detaliu; b — curba fotometrică

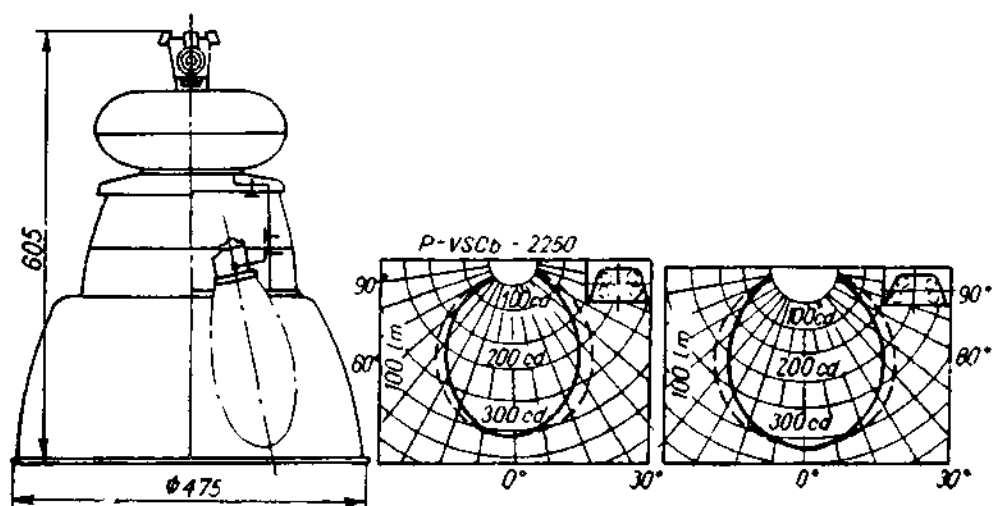


Fig. 1.B.10. Corp de iluminat industrial tip PVSCb pentru două lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune și balonul fluorescent (LVM 250 W și LVM 400 W):
 a — detaliu; b — curba fotometrică pentru corp 2×250 W; c — curba fotometrică pentru corp 2×400 W

C. CORPURI DE ILUMINAT EXTERIOR

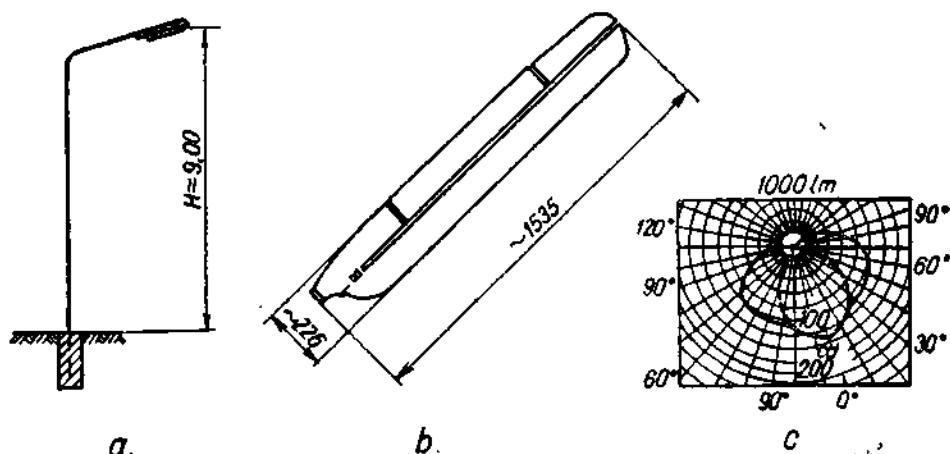


Fig. 1.C.1. Corp de iluminat de tip banană CEB echipat cu trei lămpi fluorescente LFR 40 W (cu aprindere directă):

a — modul de montare pe stâlpi; b — detaliu; c — curba fotometrică

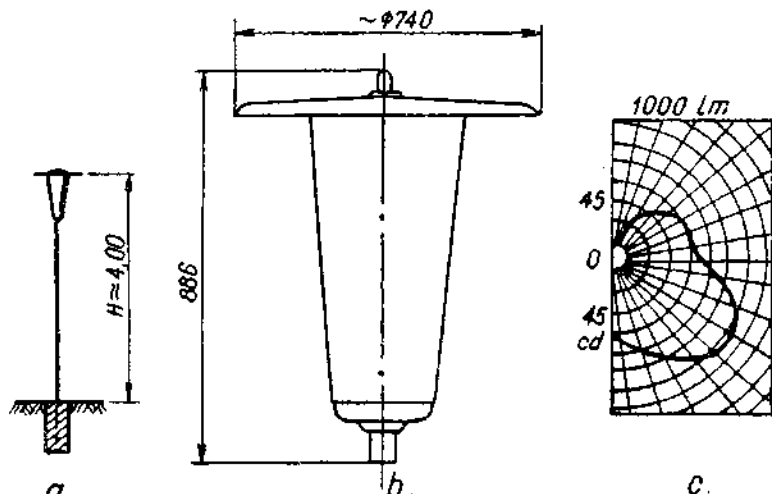


Fig. 1.C.2. Corp de iluminat tip glob tronconic CET, care se poate echipa cu 6 lămpi fluorescente tip LFR 20 W (cu aprindere directă) sau cu lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune și balon fluorescent LVM :

a — modul de montare pe stîlp ; b — detaliu ; c — curba fotometrică

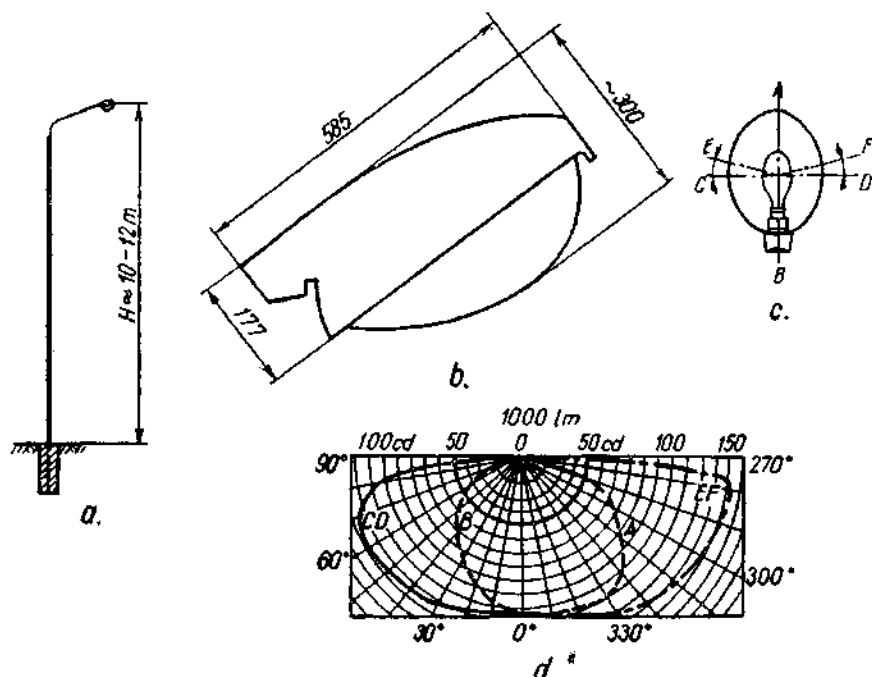


Fig. 1.C.3. Corp de iluminat tip cap de șarpe echipat cu lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune și balon fluorescent :

a — modul de montare pe stîlp ; b — detaliu ; c — marcarea planurilor transversale pentru care sînt date curbele fotometrice ; d — curbele fotometrice

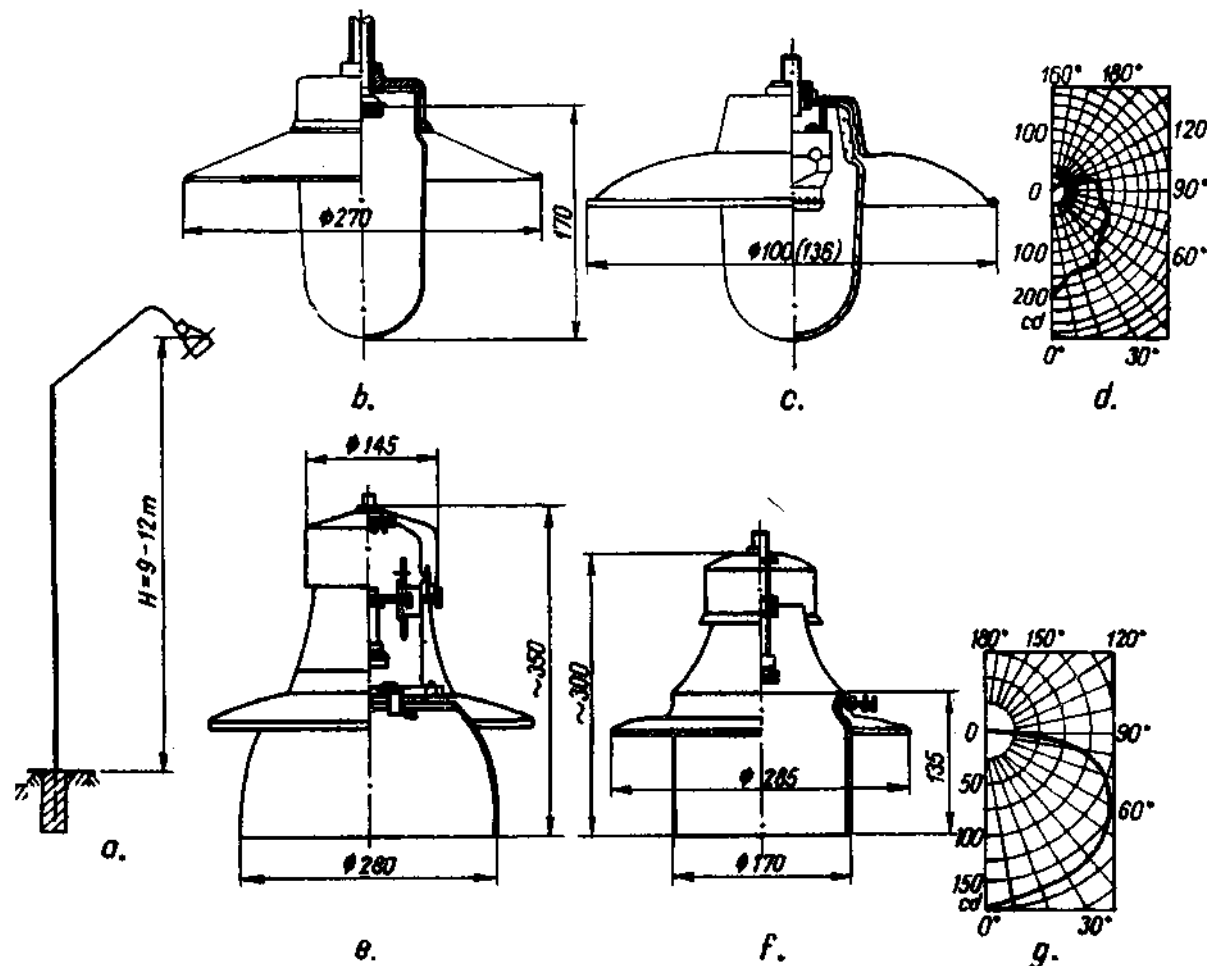


Fig. 1.C.4. Corpuri de iluminat tip A, B, C :

a — modul de montare pe stîlp ; b — detaliu corp de iluminat tip A varianta a ; c — idem, varianta b ;
 d — curba fotometrică pentru corpul de tip A ; e — corp de iluminat tip C ; f — corp de iluminat tip B ;
 g — curba fotometrică pentru corpurile de iluminat tip B și C

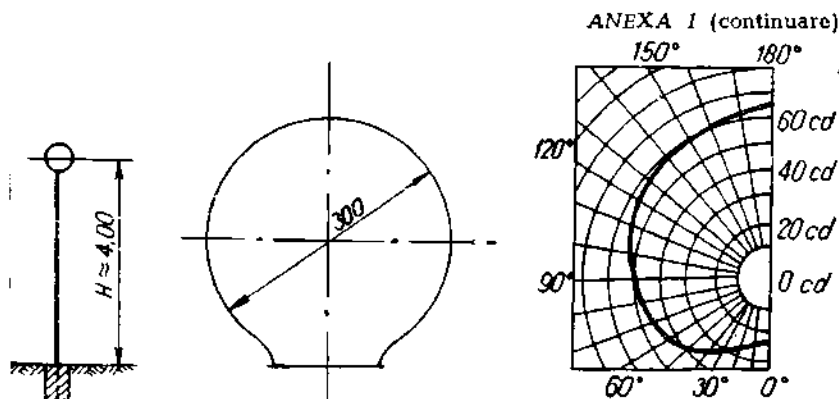


Fig. 1.C.5. Corp de iluminat cu glob sferic:

a — modul de montare pe stîlp; b — globul sferic; c — curba fotometrică

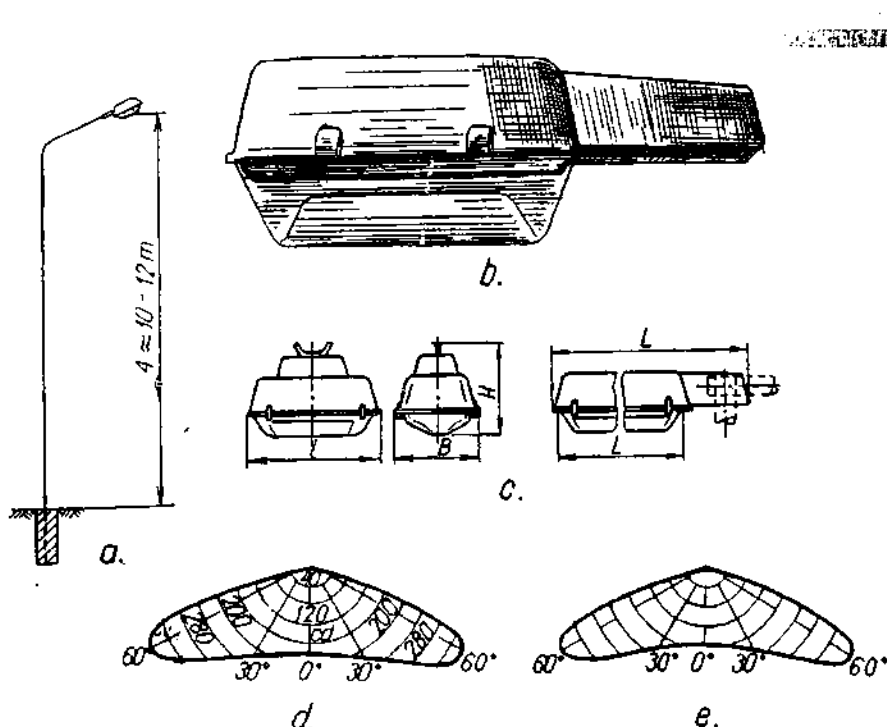


Fig. 1.C.6. Corp de iluminat tip PVB-7 pentru lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune și balon fluorescent LVM de 125 și 250 W:

a — modul de montare pe stîlp; b — ansamblul; c — detaliu; d — curba fotometrică pentru un corp cu 1—2 lămpi de 250 W; e — idem, de 125 W

ANEXA 1 (continuare)

Tip	Lămpi nr. și putere	Dimensiuni [mm]			
		L	l	B	H
PVB-7 Bp-2125	2×125	828	500	360	325
PVB-7 Bc-2125	2×125	828	500	360	325
PVB-7 Bs-2125	2×125	500	500	360	512
PVB-7 Bp-1250	1×250	828	500	360	325
PVB-7 Bc-1250	1×250	828	500	360	325
PVB-7 Bs-1250	1×250	500	500	360	512

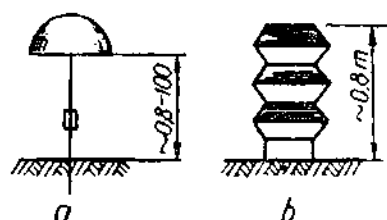


Fig. 1.C.7. Corpuri de iluminat de înălțime mică pentru iluminatul decorativ al spațiilor verzi:
a — tip ciupercă; b — tip pitic.

D. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 8.80 m REALIZATE CU CORPURI DE 40 W

$\alpha \backslash h$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
0.0	0.1888	0.1677	0.1507	0.1367	0.1251	0.1152	0.1066	0.0992	0.0927
0.25	0.1859	0.1656	0.1492	0.1356	0.1242	0.1145	0.1061	0.0987	0.0923
0.50	0.1777	0.1597	0.1448	0.1323	0.1216	0.1124	0.1044	0.0974	0.0912
0.75	0.1655	0.1568	0.1381	0.1271	0.1176	0.1092	0.1018	0.0953	0.0894
1.00	0.1509	0.1398	0.1297	0.1206	0.1124	0.1050	0.0984	0.0924	0.0871
1.25	0.1355	0.1279	0.1203	0.1130	0.1063	0.1001	0.0943	0.0890	0.0842
1.50	0.1205	0.1157	0.1104	0.1050	0.0997	0.0946	0.0897	0.0852	0.0809
1.75	0.1065	0.1040	0.1007	0.0969	0.0928	0.0888	0.0848	0.0810	0.0773
2.00	0.0939	0.0931	0.0913	0.0889	0.0860	0.0829	0.0798	0.0767	0.0736
2.25	0.0828	0.0832	0.0826	0.0812	0.0794	0.0772	0.0747	0.0722	0.0697
2.50	0.0731	0.0743	0.0746	0.0741	0.0730	0.0715	0.0698	0.0679	0.0658
2.75	0.0646	0.0665	0.0674	0.0675	0.0671	0.0662	0.0650	0.0636	0.0620
3.00	0.0573	0.0595	0.0609	0.0615	0.0615	0.0612	0.0604	0.0594	0.0582
3.25	0.0510	0.0534	0.0550	0.0560	0.0565	0.0565	0.0561	0.0555	0.0546
3.50	0.0456	0.0481	0.0499	0.0511	0.0518	0.0521	0.0521	0.0517	0.0512
3.75	0.0409	0.0433	0.0452	0.0466	0.0475	0.0481	0.0483	0.0482	0.0479
4.00	0.0368	0.0392	0.0411	0.0426	0.0437	0.0444	0.0448	0.0449	0.0448
4.25	0.0332	0.0356	0.0375	0.0390	0.0402	0.0410	0.0416	0.0418	0.0419
4.50	0.0301	0.0323	0.0342	0.0358	0.0370	0.0379	0.0386	0.0390	0.0392
4.75	0.0273	0.0295	0.0313	0.0329	0.0341	0.0351	0.0358	0.0363	0.0367
5.00	0.0249	0.0269	0.0287	0.0302	0.0315	0.0325	0.0333	0.0339	0.0343
5.25	0.0227	0.0247	0.0264	0.0279	0.0291	0.0302	0.0310	0.0316	0.0321
5.50	0.0208	0.0227	0.0243	0.0257	0.0270	0.0280	0.0288	0.0295	0.0300
5.75	0.0191	0.0209	0.0224	0.0238	0.0250	0.0260	0.0269	0.0276	0.0281
6.00	0.0176	0.0193	0.0207	0.0221	0.0232	0.0242	0.0251	0.0258	0.0264
6.25	0.0162	0.0178	0.0192	0.0205	0.0218	0.0226	0.0234	0.0241	0.0247
6.50	0.0150	0.0165	0.0178	0.0190	0.0201	0.0211	0.0219	0.0226	0.0232
6.75	0.0139	0.0153	0.0165	0.0177	0.0187	0.0197	0.0205	0.0212	0.0218
7.00	0.0129	0.0142	0.0154	0.0165	0.0175	0.0184	0.0192	0.0199	0.0205
7.25	0.0120	0.0132	0.0144	0.0154	0.0164	0.0172	0.0180	0.0187	0.0193
7.50	0.0112	0.0123	0.0134	0.0144	0.0153	0.0161	0.0169	0.0176	0.0181
7.75	0.0104	0.0115	0.0125	0.0135	0.0143	0.0151	0.0159	0.0165	0.0171
8.00	0.0097	0.0108	0.0117	0.0126	0.0134	0.0142	0.0149	0.0156	0.0161
8.25	0.0091	0.0101	0.0110	0.0118	0.0126	0.0134	0.0140	0.0147	0.0152

$\alpha \backslash h$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
8.50	0.0085	0.0094	0.0103	0.0111	0.0119	0.0126	0.0132	0.0138	0.0144
8.75	0.0080	0.0089	0.0097	0.0104	0.0112	0.0118	0.0125	0.0130	0.0136
9.00	0.0075	0.0083	0.0091	0.0098	0.0105	0.0112	0.0118	0.0123	0.0128
9.25	0.0071	0.0078	0.0086	0.0093	0.0099	0.0105	0.0111	0.0117	0.0121
9.50	0.0066	0.0074	0.0081	0.0087	0.0094	0.0100	0.0105	0.0110	0.0115
9.75	0.0063	0.0069	0.0076	0.0082	0.0088	0.0094	0.0099	0.0104	0.0109
10.00	0.0059	0.0066	0.0072	0.0078	0.0084	0.0089	0.0094	0.0099	0.0103

E. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 9.30 m REALIZATE CU CORPURI DE 65 W

$\alpha \backslash h$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
0.0	0.1524	0.1353	0.1216	0.1104	0.1010	0.0930	0.0862	0.0802	0.0750
0.25	0.1500	0.1336	0.1204	0.1095	0.1003	0.0925	0.0857	0.0798	0.0747
0.50	0.1434	0.1289	0.1169	0.1068	0.0982	0.0908	0.0844	0.0788	0.0738
0.75	0.1335	0.1217	0.1115	0.1027	0.0950	0.0883	0.0823	0.0771	0.0724
1.00	0.1218	0.1129	0.1047	0.0974	0.0908	0.0849	0.0796	0.0748	0.0704
1.25	0.1094	0.1032	0.0971	0.0913	0.0859	0.0809	0.0762	0.0720	0.0681
1.50	0.0973	0.0934	0.0892	0.0848	0.0805	0.0764	0.0726	0.0689	0.0655
1.75	0.0860	0.0840	0.0813	0.0782	0.0750	0.0718	0.0686	0.0655	0.0626
2.00	0.0758	0.0752	0.0738	0.0718	0.0695	0.0671	0.0646	0.0620	0.0596
2.25	0.0669	0.0672	0.0667	0.0657	0.0642	0.0624	0.0605	0.0585	0.0565
2.50	0.0590	0.0601	0.0603	0.0599	0.0591	0.0579	0.0565	0.0550	0.0533
2.75	0.0522	0.0537	0.0545	0.0546	0.0543	0.0536	0.0526	0.0515	0.0502
3.00	0.0464	0.0481	0.0492	0.0497	0.0498	0.0495	0.0489	0.0482	0.0472
3.25	0.0413	0.0432	0.0445	0.0453	0.0457	0.0457	0.0455	0.0450	0.0443
3.50	0.0369	0.0389	0.0404	0.0414	0.0420	0.0422	0.0422	0.0420	0.0415
3.75	0.0331	0.0351	0.0366	0.0378	0.0385	0.0390	0.0392	0.0391	0.0389
4.00	0.0298	0.0318	0.0333	0.0345	0.0354	0.0360	0.0363	0.0365	0.0364
4.25	0.0269	0.0288	0.0304	0.0316	0.0326	0.0333	0.0337	0.0340	0.0341
4.50	0.0244	0.0262	0.0278	0.0290	0.0300	0.0308	0.0313	0.0317	0.0319
4.75	0.0222	0.0239	0.0254	0.0267	0.0277	0.0285	0.0291	0.0296	0.0298
5.00	0.0202	0.0219	0.0233	0.0246	0.0256	0.0264	0.0271	0.0276	0.0279

5.25	0.0185	0.0201	0.0215	0.0227	0.0237	0.0245	0.0252	0.0257	0.0261
5.50	0.0169	0.0184	0.0198	0.0209	0.0219	0.0228	0.0235	0.0241	0.0245
5.75	0.0156	0.0170	0.0183	0.0194	0.0204	0.0212	0.0219	0.0225	0.0230
6.00	0.0143	0.0157	0.0169	0.0180	0.0189	0.0198	0.0205	0.0210	0.0215
6.25	0.0132	0.0145	0.0157	0.0167	0.0176	0.0184	0.0191	0.0197	0.0202
6.50	0.0122	0.0134	0.0145	0.0155	0.0164	0.0172	0.0179	0.0185	0.0190
6.75	0.0113	0.0125	0.0135	0.0145	0.0153	0.0161	0.0167	0.0173	0.0178
7.00	0.0105	0.0116	0.0126	0.0135	0.0143	0.0150	0.0157	0.0163	0.0168
7.25	0.0098	0.0108	0.0117	0.0126	0.0134	0.0141	0.0147	0.0153	0.0158
7.50	0.0091	0.0101	0.0110	0.0118	0.0125	0.0132	0.0138	0.0144	0.0149
7.75	0.0085	0.0094	0.0103	0.0110	0.0117	0.0124	0.0130	0.0135	0.0140
8.00	0.0080	0.0088	0.0096	0.0103	0.0110	0.0117	0.0122	0.0128	0.0132
8.25	0.0075	0.0083	0.0090	0.0097	0.0104	0.0110	0.0115	0.0120	0.0125
8.50	0.0070	0.0077	0.0085	0.0091	0.0098	0.0103	0.0109	0.0114	0.0118
8.75	0.0066	0.0073	0.0079	0.0086	0.0092	0.0097	0.0103	0.0107	0.0112
9.00	0.0062	0.0068	0.0075	0.0081	0.0087	0.0092	0.0097	0.0101	0.0106
9.25	0.0058	0.0064	0.0070	0.0076	0.0082	0.0087	0.0092	0.0096	0.0100
9.50	0.0055	0.0061	0.0066	0.0072	0.0077	0.0082	0.0087	0.0091	0.0095
9.75	0.0052	0.0057	0.0063	0.0068	0.0073	0.0078	0.0082	0.0086	0.0090
10.00	0.0049	0.0054	0.0059	0.0064	0.0069	0.0073	0.0078	0.0082	0.0085

F. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 18.50 m REALIZATE CU CORPURI DE 65 W

$\frac{h}{a}$	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
0.0	0.0608	0.0579	0.0552	0.0527	0.0505	0.0484	0.0465	0.0447	0.0431	0.0415	0.0401	0.0387
0.25	0.0606	0.0577	0.0551	0.0526	0.0504	0.0483	0.0464	0.0447	0.0430	0.0415	0.0400	0.0387
0.50	0.0602	0.0573	0.0547	0.0523	0.0501	0.0481	0.0462	0.0445	0.0429	0.0413	0.0399	0.0386
0.75	0.0594	0.0567	0.0542	0.0518	0.0497	0.0477	0.0459	0.0442	0.0426	0.0411	0.0397	0.0384
1.00	0.0584	0.0558	0.0534	0.0512	0.0491	0.0472	0.0454	0.0438	0.0422	0.0407	0.0394	0.0381
1.25	0.0572	0.0547	0.0524	0.0503	0.0484	0.0465	0.0448	0.0432	0.0417	0.0403	0.0390	0.0377
1.50	0.0557	0.0535	0.0513	0.0493	0.0475	0.0457	0.0441	0.0426	0.0412	0.0398	0.0385	0.0373
1.75	0.0541	0.0520	0.0501	0.0482	0.0465	0.0449	0.0433	0.0419	0.0405	0.0392	0.0380	0.0368
2.00	0.0523	0.0505	0.0487	0.0470	0.0454	0.0439	0.0424	0.0411	0.0398	0.0385	0.0374	0.0363
2.25	0.0505	0.0488	0.0472	0.0457	0.0442	0.0428	0.0415	0.0402	0.0390	0.0378	0.0367	0.0357
2.50	0.0485	0.0471	0.0456	0.0443	0.0429	0.0417	0.0404	0.0392	0.0381	0.0370	0.0360	0.0350
2.75	0.0466	0.0453	0.0440	0.0428	0.0416	0.0405	0.0393	0.0383	0.0372	0.0362	0.0352	0.0343
3.00	0.0446	0.0435	0.0424	0.0413	0.0403	0.0392	0.0382	0.0372	0.0363	0.0353	0.0344	0.0336
3.25	0.0426	0.0417	0.0408	0.0398	0.0389	0.0380	0.0371	0.0362	0.0353	0.0344	0.0336	0.0328

$\frac{e_2}{a} \backslash h$	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
3.50	0.0406	0.0399	0.0391	0.0383	0.0375	0.0367	0.0359	0.0351	0.0343	0.0335	0.0328	0.0320
3.75	0.0387	0.0381	0.0375	0.0368	0.0361	0.0354	0.0347	0.0340	0.0333	0.0326	0.0319	0.0312
4.00	0.0369	0.0364	0.0359	0.0353	0.0348	0.0341	0.0335	0.0329	0.0323	0.0316	0.0310	0.0304
4.25	0.0351	0.0347	0.0343	0.0339	0.0334	0.0329	0.0324	0.0318	0.0313	0.0307	0.0301	0.0296
4.50	0.0334	0.0331	0.0328	0.0325	0.0321	0.0316	0.0312	0.0307	0.0302	0.0297	0.0292	0.0287
4.75	0.0317	0.0316	0.0314	0.0311	0.0308	0.0304	0.0301	0.0297	0.0292	0.0288	0.0283	0.0279
5.00	0.0301	0.0301	0.0299	0.0298	0.0295	0.0292	0.0289	0.0286	0.0282	0.0279	0.0275	0.0271
5.25	0.0286	0.0287	0.0286	0.0285	0.0283	0.0281	0.0278	0.0276	0.0273	0.0269	0.0266	0.0262
5.50	0.0272	0.0273	0.0273	0.0272	0.0271	0.0270	0.0268	0.0268	0.0263	0.0260	0.0257	0.0254
5.75	0.0259	0.0260	0.0260	0.0260	0.0260	0.0259	0.0257	0.0256	0.0254	0.0251	0.0249	0.0246
6.00	0.0246	0.0248	0.0249	0.0249	0.0249	0.0248	0.0248	0.0246	0.0245	0.0243	0.0241	0.0238
6.25	0.0234	0.0236	0.0237	0.0238	0.0238	0.0238	0.0238	0.0237	0.0236	0.0234	0.0233	0.0231
6.50	0.0223	0.0225	0.0227	0.0228	0.0228	0.0229	0.0229	0.0228	0.0227	0.0226	0.0225	0.0223
6.75	0.0212	0.0214	0.0216	0.0218	0.0219	0.0219	0.0220	0.0219	0.0219	0.0218	0.0217	0.0216
7.00	0.0202	0.0204	0.0207	0.0208	0.0210	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0210	0.0210	0.0209
7.25	0.0192	0.0195	0.0197	0.0199	0.0201	0.0202	0.0203	0.0203	0.0203	0.0203	0.0203	0.0202
7.50	0.0183	0.0186	0.0189	0.0191	0.0193	0.0194	0.0195	0.0195	0.0196	0.0196	0.0196	0.0195
7.75	0.0175	0.0178	0.0180	0.0183	0.0185	0.0186	0.0187	0.0188	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189
8.00	0.0167	0.0170	0.0173	0.0175	0.0177	0.0179	0.0180	0.0181	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182
8.25	0.0159	0.0162	0.0165	0.0168	0.0170	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0176	0.0176
8.50	0.0152	0.0155	0.0158	0.0161	0.0163	0.0165	0.0166	0.0168	0.0169	0.0169	0.0170	0.0170
8.75	0.0145	0.0148	0.0151	0.0154	0.0156	0.0158	0.0160	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164	0.0164
9.00	0.0139	0.0142	0.0145	0.0148	0.0150	0.0152	0.0154	0.0155	0.0157	0.0158	0.0158	0.0159
9.25	0.0133	0.0136	0.0139	0.0142	0.0144	0.0146	0.0148	0.0150	0.0151	0.0152	0.0153	0.0154
9.50	0.0127	0.0130	0.0133	0.0136	0.0138	0.0141	0.0142	0.0144	0.0146	0.0147	0.0148	0.0148
9.75	0.0122	0.0125	0.0128	0.0131	0.0133	0.0135	0.0137	0.0139	0.0140	0.0142	0.0143	0.0143
10.00	0.0117	0.0120	0.0123	0.0125	0.0128	0.0130	0.0132	0.0134	0.0135	0.0137	0.0138	0.0139
10.25	0.0112	0.0115	0.0118	0.0121	0.0123	0.0125	0.0127	0.0129	0.0131	0.0132	0.0133	0.0134
10.50	0.0107	0.0110	0.0113	0.0116	0.0118	0.0121	0.0123	0.0124	0.0126	0.0127	0.0129	0.0130
10.75	0.0108	0.0106	0.0109	0.0111	0.0114	0.0116	0.0118	0.0120	0.0122	0.0123	0.0124	0.0125
11.00	0.0099	0.0102	0.0105	0.0107	0.0110	0.0112	0.0114	0.0116	0.0117	0.0119	0.0120	0.0121
11.25	0.0095	0.0098	0.0101	0.0103	0.0106	0.0108	0.0110	0.0112	0.0113	0.0115	0.0116	0.0117
11.50	0.0091	0.0094	0.0097	0.0099	0.0098	0.0104	0.0106	0.0108	0.0109	0.0111	0.0112	0.0114
11.75	0.0088	0.0091	0.0093	0.0096	0.0098	0.0100	0.0102	0.0104	0.0106	0.0107	0.0109	0.0110
12.00	0.0084	0.0087	0.0090	0.0092	0.0095	0.0097	0.0099	0.0100	0.0102	0.0104	0.0105	0.0106
12.25	0.0081	0.0084	0.0086	0.0089	0.0091	0.0093	0.0095	0.0097	0.0099	0.0100	0.0102	0.0103

12.50	0.0078	0.0081	0.0083	0.0086	0.0088	0.0090	0.0092	0.0094	0.0095	0.0097	0.0098	0.0100
12.75	0.0075	0.0078	0.0080	0.0083	0.0085	0.0087	0.0089	0.0091	0.0092	0.0094	0.0095	0.0097
13.00	0.0073	0.0075	0.0078	0.0080	0.0082	0.0084	0.0086	0.0088	0.0089	0.0091	0.0092	0.0094
13.25	0.0070	0.0072	0.0075	0.0077	0.0079	0.0081	0.0083	0.0085	0.0086	0.0088	0.0089	0.0091
13.50	0.0067	0.0070	0.0072	0.0074	0.0076	0.0078	0.0080	0.0082	0.0084	0.0085	0.0087	0.0088
13.75	0.0065	0.0067	0.0070	0.0072	0.0074	0.0076	0.0078	0.0079	0.0081	0.0082	0.0084	0.0085
14.00	0.0063	0.0065	0.0067	0.0069	0.0071	0.0073	0.0075	0.0077	0.0078	0.0080	0.0081	0.0083
14.25	0.0061	0.0063	0.0065	0.0067	0.0069	0.0071	0.0073	0.0074	0.0076	0.0077	0.0079	0.0080
14.50	0.0059	0.0061	0.0063	0.0065	0.0067	0.0069	0.0070	0.0072	0.0074	0.0075	0.0076	0.0078
14.75	0.0057	0.0059	0.0061	0.0063	0.0065	0.0066	0.0068	0.0070	0.0071	0.0073	0.0074	0.0075
15.00	0.0055	0.0057	0.0059	0.0061	0.0063	0.0064	0.0066	0.0068	0.0069	0.0070	0.0072	0.0073

G. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 0.62 m REALIZATE CU CORPURI DE 20 W

$\frac{h}{a}$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
0.0	0.1559	0.1250	0.1023	0.0852	0.0720	0.0617	0.0534	0.0466	0.0411
0.25	0.1525	0.1228	0.1008	0.0842	0.0713	0.0611	0.0530	0.0463	0.0409
0.50	0.1429	0.1166	0.0966	0.0812	0.0692	0.0596	0.0518	0.0454	0.0402
0.75	0.1291	0.1073	0.0902	0.0767	0.0659	0.0571	0.0500	0.0440	0.0390
1.00	0.1131	0.0962	0.0824	0.0710	0.0617	0.0540	0.0475	0.0421	0.0376
1.25	0.0969	0.0848	0.0739	0.0647	0.0569	0.0503	0.0447	0.0395	0.0358
1.50	0.0818	0.0732	0.0653	0.0582	0.0519	0.0464	0.0416	0.0374	0.0336
1.75	0.0685	0.0628	0.0571	0.0517	0.0468	0.0424	0.0384	0.0348	0.0317
2.00	0.0571	0.0535	0.0496	0.0457	0.0419	0.0384	0.0351	0.0322	0.0295
2.25	0.0475	0.0454	0.0429	0.0401	0.0373	0.0346	0.0320	0.0296	0.0273
2.50	0.0397	0.0386	0.0370	0.0351	0.0331	0.0310	0.0290	0.0270	0.0252
2.75	0.0332	0.0328	0.0319	0.0307	0.0293	0.0278	0.0262	0.0246	0.0231
3.00	0.0279	0.0280	0.0276	0.0268	0.0259	0.0248	0.0236	0.0224	0.0212
3.25	0.0236	0.0239	0.0239	0.0235	0.0229	0.0221	0.0212	0.0203	0.0194
3.50	0.0201	0.0206	0.0207	0.0206	0.0202	0.0197	0.0191	0.0184	0.0177
3.75	0.0172	0.0177	0.0180	0.0181	0.0179	0.0176	0.0172	0.0167	0.0161
4.00	0.0148	0.0154	0.0157	0.0159	0.0159	0.0157	0.0155	0.0151	0.0147
4.25	0.0128	0.0134	0.0138	0.0140	0.0141	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134
4.50	0.0111	0.0117	0.0121	0.0124	0.0126	0.0126	0.0125	0.0124	0.0122
4.75	0.0097	0.0103	0.0107	0.0110	0.0112	0.0113	0.0113	0.0112	0.0110
5.00	0.0085	0.0091	0.0095	0.0098	0.0100	0.0102	0.0102	0.0102	0.0101
5.25	0.0075	0.0080	0.0084	0.0088	0.0090	0.0092	0.0093	0.0093	0.0093
5.50	0.0066	0.0071	0.0075	0.0079	0.0081	0.0083	0.0084	0.0085	0.0085
5.75	0.0059	0.0064	0.0067	0.0071	0.0073	0.0075	0.0076	0.0077	0.0078

$\alpha \backslash h$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
6.00	0.0053	0.0057	0.0061	0.0064	0.0066	0.0068	0.0070	0.0071	0.0071
6.25	0.0047	0.0051	0.0055	0.0057	0.0060	0.0062	0.0063	0.0065	0.0065
6.50	0.0042	0.0046	0.0049	0.0052	0.0054	0.0056	0.0058	0.0059	0.0060
6.75	0.0038	0.0042	0.0045	0.0047	0.0050	0.0052	0.0053	0.0054	0.0055
7.00	0.0039	0.0038	0.0041	0.0043	0.0045	0.0047	0.0049	0.0050	0.0051
7.25	0.0031	0.0034	0.0037	0.0039	0.0041	0.0043	0.0045	0.0046	0.0047
7.50	0.0025	0.0031	0.0034	0.0036	0.0038	0.0040	0.0041	0.0042	0.0043
7.75	0.0028	0.0029	0.0031	0.0033	0.0035	0.0038	0.0038	0.0039	0.0040
8.00	0.0024	0.0026	0.0028	0.0030	0.0032	0.0034	0.0035	0.0036	0.0037
8.25	0.0022	0.0024	0.0026	0.0028	0.0030	0.0031	0.0032	0.0034	0.0035
8.50	0.0020	0.0022	0.0024	0.0026	0.0027	0.0029	0.0030	0.0031	0.0032
8.75	0.0018	0.0020	0.0022	0.0024	0.0025	0.0027	0.0028	0.0029	0.0030
9.00	0.0017	0.0019	0.0020	0.0022	0.0023	0.0025	0.0026	0.0027	0.0028
9.25	0.0016	0.0017	0.0019	0.0020	0.0022	0.0023	0.0024	0.0025	0.0026
9.50	0.0015	0.0016	0.0018	0.0019	0.0020	0.0021	0.0023	0.0024	0.0024
9.75	0.0014	0.0015	0.0016	0.0018	0.0019	0.0020	0.0021	0.0022	0.0023
10.00	0.0013	0.0014	0.0015	0.0016	0.0018	0.0019	0.0020	0.0021	0.0021

H. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 1.25 m REALIZATE CU CORPURI DE 40 W

$\alpha \backslash h$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
0.0	0.1305	0.1078	0.0903	0.0766	0.0658	0.0570	0.0498	0.0439	0.0389
0.25	0.1279	0.1066	0.0891	0.0758	0.0651	0.0565	0.0495	0.0436	0.0387
0.50	0.1206	0.1011	0.0856	0.0733	0.0633	0.0551	0.0484	0.0428	0.0381
0.75	0.1099	0.0937	0.0804	0.0692	0.0604	0.0530	0.0467	0.0415	0.0371
1.00	0.0974	0.0847	0.0738	0.0646	0.0568	0.0502	0.0446	0.0398	0.0357
1.25	0.0845	0.0751	0.0666	0.0591	0.0526	0.0469	0.0420	0.0378	0.0341
1.50	0.0722	0.0657	0.0593	0.0534	0.0481	0.0434	0.0392	0.0355	0.0322
1.75	0.0612	0.0566	0.0523	0.0478	0.0436	0.0398	0.0363	0.0331	0.0303
2.00	0.0516	0.0488	0.0457	0.0425	0.0393	0.0362	0.0333	0.0307	0.0282
2.25	0.0434	0.0419	0.0398	0.0378	0.0351	0.0327	0.0304	0.0282	0.0262
2.50	0.0366	0.0358	0.0346	0.0330	0.0313	0.0295	0.0277	0.0259	0.0242
2.75	0.0309	0.0307	0.0300	0.0290	0.0278	0.0265	0.0251	0.0251	0.0223
3.00	0.0262	0.0263	0.0261	0.0255	0.0247	0.0237	0.0226	0.0215	0.0204

3.25	0.0223	0.0227	0.0227	0.0224	0.0219	0.0212	0.0204	0.0196	0.0187
3.50	0.0190	0.0196	0.0198	0.0197	0.0194	0.0190	0.0184	0.0178	0.0171
3.75	0.0164	0.0169	0.0173	0.0173	0.0172	0.0170	0.0166	0.0161	0.0156
4.00	0.0141	0.0147	0.0151	0.0153	0.0153	0.0152	0.0150	0.0146	0.0143
4.25	0.0123	0.0129	0.0133	0.0136	0.0137	0.0136	0.0135	0.0133	0.0130
4.50	0.0107	0.0113	0.0117	0.0120	0.0122	0.0122	0.0122	0.0121	0.0119
4.75	0.0094	0.0099	0.0104	0.0107	0.0109	0.0110	0.0110	0.0110	0.0108
5.00	0.0082	0.0088	0.0092	0.0096	0.0098	0.0099	0.0100	0.0100	0.0099
5.25	0.0073	0.0078	0.0082	0.0086	0.0088	0.0090	0.0091	0.0091	0.0091
5.50	0.0065	0.0065	0.0073	0.0077	0.0079	0.0081	0.0082	0.0083	0.0083
5.75	0.0057	0.0062	0.0066	0.0069	0.0072	0.0074	0.0075	0.0076	0.0076
6.00	0.0051	0.0056	0.0059	0.0062	0.0065	0.0067	0.0068	0.0069	0.0070
6.25	0.0046	0.0050	0.0053	0.0056	0.0059	0.0061	0.0062	0.0063	0.0064
6.50	0.0042	0.0045	0.0048	0.0051	0.0054	0.0055	0.0057	0.0058	0.0059
6.75	0.0037	0.0041	0.0044	0.0047	0.0045	0.0051	0.0052	0.0053	0.0054
7.00	0.0034	0.0037	0.0040	0.0042	0.0045	0.0046	0.0048	0.0049	0.0050
7.25	0.0031	0.0034	0.0034	0.0039	0.0041	0.0043	0.0044	0.0045	0.0046
7.50	0.0028	0.0031	0.0033	0.0035	0.0037	0.0039	0.0041	0.0042	0.0043
7.75	0.0026	0.0028	0.0030	0.0033	0.0034	0.0036	0.0037	0.0039	0.0040
8.00	0.0023	0.0026	0.0028	0.0030	0.0032	0.0033	0.0035	0.0036	0.0037
8.25	0.0022	0.0024	0.0026	0.0028	0.0029	0.0031	0.0032	0.0033	0.0034
8.50	0.0020	0.0022	0.0024	0.0025	0.0027	0.0028	0.0030	0.0031	0.0032
8.75	0.0018	0.0020	0.0022	0.0024	0.0025	0.0026	0.0028	0.0029	0.0030
9.00	0.0017	0.0019	0.0020	0.0022	0.0023	0.0025	0.0026	0.0027	0.0028
9.25	0.0016	0.0017	0.0019	0.0020	0.0022	0.0023	0.0024	0.0025	0.0026
9.50	0.0014	0.0016	0.0017	0.0019	0.0020	0.0021	0.0022	0.0023	0.0024
9.75	0.0013	0.0015	0.0016	0.0018	0.0019	0.0020	0.0021	0.0022	0.0023
10.00	0.0012	0.0014	0.0015	0.0016	0.0017	0.0019	0.0020	0.0020	0.0021

I. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 1.55 m REALIZATE CU CORPURI DE 65 W

$\frac{h}{a}$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
0.00	0.1180	0.0988	0.0838	0.0718	0.0621	0.0542	0.0476	0.0422	0.0376
0.25	0.1158	0.0973	0.0827	0.0710	0.0615	0.0537	0.0473	0.0419	0.0374
0.50	0.1094	0.0929	0.0790	0.0688	0.0598	0.0525	0.0463	0.0411	0.0368
0.75	0.1002	0.0864	0.0740	0.0653	0.0572	0.0505	0.0448	0.0399	0.0358
1.00	0.0892	0.0784	0.0690	0.0608	0.0539	0.0479	0.0427	0.0383	0.0345
1.25	0.0779	0.0699	0.0625	0.0559	0.0506	0.0449	0.0403	0.0364	0.0330
1.50	0.0670	0.0614	0.0559	0.0507	0.0459	0.0416	0.0377	0.0343	0.0312

$\alpha \backslash h$	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
1.75	0.0571	0.0534	0.0494	0.0455	0.0417	0.0382	0.0350	0.0320	0.0294
2.00	0.0485	0.0461	0.0434	0.0405	0.0376	0.0348	0.0322	0.0297	0.0274
2.25	0.0410	0.0397	0.0379	0.0359	0.0337	0.0316	0.0294	0.0274	0.0255
2.50	0.0347	0.0342	0.0331	0.0317	0.0301	0.0285	0.0268	0.0252	0.0236
2.75	0.0295	0.0294	0.0288	0.0279	0.0268	0.0256	0.0243	0.0230	0.0217
3.00	0.0251	0.0253	0.0251	0.0246	0.0239	0.0230	0.0220	0.0210	0.0200
3.25	0.0214	0.0218	0.0219	0.0217	0.0212	0.0206	0.0199	0.0191	0.0183
3.50	0.0184	0.0189	0.0191	0.0191	0.0189	0.0185	0.0180	0.0174	0.0167
3.75	0.0158	0.0164	0.0168	0.0169	0.0160	0.0166	0.0162	0.0158	0.0153
4.00	0.0137	0.0143	0.0147	0.0149	0.0150	0.0149	0.0147	0.0144	0.0140
4.25	0.0119	0.0125	0.0130	0.0132	0.0134	0.0133	0.0132	0.0130	0.0128
4.50	0.0102	0.0110	0.0115	0.0118	0.0119	0.0120	0.0120	0.0119	0.0117
4.75	0.0091	0.0097	0.0102	0.0105	0.0107	0.0108	0.0108	0.0108	0.0107
5.00	0.0081	0.0086	0.0090	0.0094	0.0096	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098
5.25	0.0071	0.0077	0.0081	0.0084	0.0086	0.0088	0.0089	0.0090	0.0089
5.50	0.0063	0.0068	0.0072	0.0076	0.0078	0.0080	0.0081	0.0082	0.0082
5.75	0.0057	0.0061	0.0065	0.0068	0.0071	0.0072	0.0074	0.0075	0.0075
6.00	0.0051	0.0055	0.0058	0.0061	0.0064	0.0066	0.0067	0.0068	0.0069
6.25	0.0045	0.0049	0.0053	0.0056	0.0058	0.0060	0.0062	0.0063	0.0063
6.50	0.0041	0.0045	0.0048	0.0051	0.0053	0.0055	0.0056	0.0058	0.0058
6.75	0.0037	0.0040	0.0043	0.0046	0.0048	0.0050	0.0052	0.0053	0.0054
7.00	0.0034	0.0037	0.0039	0.0042	0.0044	0.0046	0.0047	0.0049	0.0050
7.25	0.0030	0.0033	0.0036	0.0038	0.0040	0.0042	0.0044	0.0044	0.0046
7.50	0.0028	0.0030	0.0033	0.0035	0.0037	0.0039	0.0040	0.0042	0.0043
7.75	0.0025	0.0028	0.0030	0.0032	0.0034	0.0036	0.0037	0.0038	0.0039
8.00	0.0023	0.0026	0.0028	0.0030	0.0031	0.0033	0.0034	0.0036	0.0037
8.25	0.0021	0.0024	0.0025	0.0027	0.0029	0.0031	0.0032	0.0033	0.0034
8.50	0.0020	0.0022	0.0024	0.0025	0.0027	0.0028	0.0030	0.0031	0.0032
8.75	0.0018	0.0020	0.0022	0.0023	0.0025	0.0026	0.0027	0.0029	0.0029
9.00	0.0017	0.0018	0.0020	0.0022	0.0023	0.0024	0.0026	0.0027	0.0028
9.25	0.0015	0.0017	0.0019	0.0020	0.0021	0.0023	0.0024	0.0025	0.0026
9.50	0.0014	0.0016	0.0017	0.0019	0.0020	0.0021	0.0022	0.0023	0.0024
9.75	0.0013	0.0015	0.0016	0.0017	0.0019	0.0020	0.0021	0.0022	0.0023
10.00	0.0012	0.0014	0.0015	0.0016	0.0017	0.0018	0.0019	0.0020	0.0021

J. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 1.25 m REALIZATE CU CORPURI DE 40 W

$\alpha \backslash h$	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
0.0	0.0256	0.0233	0.0213	0.0195	0.0180	0.0166	0.0154	0.0143	0.0133	0.0125	0.0117	0.0109
0.25	0.0255	0.0232	0.0212	0.0195	0.0180	0.0166	0.0154	0.0143	0.0133	0.0124	0.0116	0.0109
0.50	0.0252	0.0230	0.0210	0.0193	0.0178	0.0165	0.0153	0.0142	0.0132	0.0124	0.0116	0.0109
0.75	0.0247	0.0226	0.0207	0.0191	0.0176	0.0163	0.0151	0.0141	0.0131	0.0123	0.0115	0.0108
1.00	0.0241	0.0221	0.0203	0.0187	0.0173	0.0160	0.0149	0.0139	0.0129	0.0121	0.0114	0.0107
1.25	0.0234	0.0215	0.0198	0.0183	0.0169	0.0157	0.0146	0.0136	0.0127	0.0119	0.0112	0.0105
1.50	0.0225	0.0208	0.0192	0.0177	0.0165	0.0153	0.0143	0.0133	0.0125	0.0117	0.0110	0.0104
1.75	0.0216	0.0200	0.0185	0.0172	0.0160	0.0149	0.0139	0.0130	0.0122	0.0115	0.0108	0.0102
2.00	0.0206	0.0191	0.0178	0.0165	0.0154	0.0144	0.0135	0.0126	0.0119	0.0112	0.0105	0.0099
2.25	0.0195	0.0182	0.0170	0.0159	0.0148	0.0139	0.0130	0.0123	0.0115	0.0109	0.0103	0.0097
2.50	0.0185	0.0173	0.0162	0.0152	0.0142	0.0134	0.0126	0.0118	0.0112	0.0105	0.0100	0.0094
2.75	0.0174	0.0163	0.0154	0.0144	0.0136	0.0128	0.0121	0.0114	0.0108	0.0102	0.0097	0.0092
3.00	0.0163	0.0154	0.0145	0.0137	0.0130	0.0123	0.0116	0.0110	0.0104	0.0099	0.0094	0.0089
3.25	0.0153	0.0145	0.0137	0.0130	0.0123	0.0117	0.0111	0.0105	0.0100	0.0095	0.0090	0.0086
3.50	0.0143	0.0136	0.0129	0.0123	0.0117	0.0111	0.0106	0.0101	0.0096	0.0091	0.0087	0.0083
3.75	0.0133	0.0127	0.0122	0.0116	0.0111	0.0106	0.0101	0.0096	0.0092	0.0088	0.0084	0.0080
4.00	0.0124	0.0119	0.0114	0.0109	0.0105	0.0100	0.0096	0.0092	0.0088	0.0084	0.0080	0.0077
4.25	0.0115	0.0111	0.0107	0.0103	0.0099	0.0095	0.0091	0.0087	0.0084	0.0080	0.0077	0.0074
4.50	0.0107	0.0104	0.0100	0.0097	0.0093	0.0090	0.0086	0.0083	0.0080	0.0077	0.0074	0.0071
4.75	0.0100	0.0097	0.0094	0.0091	0.0088	0.0085	0.0082	0.0079	0.0076	0.0073	0.0071	0.0068
5.00	0.0092	0.0090	0.0088	0.0085	0.0083	0.0080	0.0078	0.0075	0.0072	0.0070	0.0068	0.0065
5.25	0.0086	0.0084	0.0082	0.0080	0.0078	0.0076	0.0073	0.0071	0.0069	0.0067	0.0065	0.0062
5.50	0.0080	0.0078	0.0077	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0067	0.0065	0.0064	0.0062	0.0060
5.75	0.0074	0.0073	0.0072	0.0070	0.0069	0.0067	0.0066	0.0064	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057
6.00	0.0069	0.0068	0.0067	0.0066	0.0065	0.0063	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0056	0.0054
6.25	0.0064	0.0064	0.0063	0.0062	0.0061	0.0060	0.0059	0.0057	0.0056	0.0055	0.0053	0.0052
6.50	0.0060	0.0059	0.0059	0.0058	0.0057	0.0056	0.0055	0.0054	0.0053	0.0052	0.0051	0.0050
6.75	0.0056	0.0055	0.0055	0.0054	0.0054	0.0053	0.0052	0.0051	0.0050	0.0049	0.0048	0.0047
7.00	0.0052	0.0052	0.0051	0.0051	0.0051	0.0050	0.0049	0.0049	0.0048	0.0047	0.0046	0.0045
7.25	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0047	0.0047	0.0046	0.0045	0.0045	0.0044	0.0043
7.50	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0044	0.0044	0.0043	0.0043	0.0042	0.0042	0.0041
7.75	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0041	0.0041	0.0040	0.0040	0.0039
8.00	0.0039	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0038	0.0038	0.0037
8.25	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0036	0.0036	0.0035
8.50	0.0034	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0034	0.0034	0.0034
8.75	0.0032	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0032

$\frac{h}{a}$	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
9.00	0.0030	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0032	0.0032	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031
9.25	0.0028	0.0029	0.0029	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0029	0.0029
9.50	0.0027	0.0027	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
9.75	0.0025	0.0026	0.0026	0.0026	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027
10.00	0.0024	0.0024	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0025
10.25	0.0022	0.0023	0.0023	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024
10.50	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
10.75	0.0020	0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022
11.00	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
11.25	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
11.50	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
11.75	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019
12.00	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018
12.25	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017
12.50	0.0014	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
12.75	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016
13.00	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015
13.25	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
13.50	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014
13.75	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
14.00	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013
14.25	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
14.50	0.0009	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012
14.75	0.0009	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011
15.00	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011

K. η PENTRU ȘIRURI LUMINOASE DE LUNGIME 1.55 m REALIZATE CU CORPURI DE 65 W

$\alpha \backslash h$	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
0.0	0.0249	0.0228	0.0209	0.0192	0.0177	0.0164	0.0152	0.0141	0.0132	0.0123	0.0115	0.0108
0.25	0.0249	0.0227	0.0208	0.0191	0.0170	0.0163	0.0152	0.0141	0.0131	0.0123	0.0115	0.0108
0.50	0.0246	0.0225	0.0206	0.0190	0.0175	0.0162	0.0151	0.0140	0.0131	0.0122	0.0115	0.0107
0.75	0.0242	0.0221	0.0203	0.0187	0.0173	0.0160	0.0149	0.0139	0.0130	0.0121	0.0114	0.0107
1.00	0.0236	0.0216	0.0199	0.0184	0.0170	0.0158	0.0147	0.0137	0.0128	0.0120	0.0112	0.0106
1.25	0.0229	0.0210	0.0194	0.0179	0.0166	0.0155	0.0144	0.0134	0.0126	0.0118	0.0111	0.0104
1.50	0.0220	0.0203	0.0188	0.0174	0.0162	0.0151	0.0141	0.0132	0.0123	0.0116	0.0109	0.0102
1.75	0.0211	0.0196	0.0181	0.0169	0.0157	0.0147	0.0137	0.0128	0.0120	0.0113	0.0107	0.0101
2.00	0.0202	0.0187	0.0174	0.0163	0.0152	0.0142	0.0133	0.0125	0.0117	0.0111	0.0104	0.0098
2.25	0.0191	0.0179	0.0167	0.0156	0.0146	0.0137	0.0129	0.0121	0.0114	0.0108	0.0102	0.0096
2.50	0.0181	0.0170	0.0159	0.0149	0.0140	0.0132	0.0124	0.0117	0.0110	0.0104	0.0099	0.0093
2.75	0.0171	0.0160	0.0151	0.0142	0.0134	0.0126	0.0119	0.0113	0.0107	0.0101	0.0096	0.0091
3.00	0.0160	0.0151	0.0143	0.0135	0.0128	0.0121	0.0114	0.0108	0.0103	0.0098	0.0093	0.0088
3.25	0.0150	0.0142	0.0135	0.0128	0.0122	0.0115	0.0110	0.0104	0.0099	0.0094	0.0089	0.0085
3.50	0.0140	0.0134	0.0127	0.0121	0.0115	0.0110	0.0105	0.0100	0.0095	0.0090	0.0086	0.0082
3.75	0.0131	0.0125	0.0120	0.0115	0.0109	0.0104	0.0100	0.0095	0.0091	0.0087	0.0083	0.0079
4.00	0.0122	0.0117	0.0113	0.0108	0.0103	0.0099	0.0095	0.0091	0.0087	0.0083	0.0080	0.0076
4.25	0.0114	0.0110	0.0106	0.0102	0.0098	0.0094	0.0090	0.0087	0.0083	0.0080	0.0076	0.0073
4.50	0.0106	0.0102	0.0099	0.0096	0.0092	0.0089	0.0086	0.0082	0.0079	0.0076	0.0073	0.0070
4.75	0.0098	0.0096	0.0093	0.0090	0.0087	0.0084	0.0081	0.0078	0.0075	0.0073	0.0070	0.0068
5.00	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084	0.0082	0.0079	0.0077	0.0074	0.0072	0.0069	0.0067	0.0065
5.25	0.0085	0.0083	0.0081	0.0079	0.0077	0.0075	0.0072	0.0071	0.0068	0.0066	0.0064	0.0062
5.50	0.0079	0.0077	0.0076	0.0074	0.0072	0.0071	0.0069	0.0067	0.0065	0.0063	0.0061	0.0059
5.75	0.0073	0.0072	0.0071	0.0070	0.0068	0.0067	0.0065	0.0069	0.0062	0.0060	0.0058	0.0057
6.00	0.0068	0.0067	0.0066	0.0065	0.0064	0.0063	0.0061	0.0060	0.0059	0.0057	0.0056	0.0054
6.25	0.0063	0.0063	0.0062	0.0061	0.0060	0.0059	0.0058	0.0057	0.0056	0.0054	0.0053	0.0052
6.50	0.0059	0.0059	0.0058	0.0058	0.0057	0.0056	0.0055	0.0054	0.0053	0.0052	0.0050	0.0049
6.75	0.0055	0.0055	0.0054	0.0054	0.0053	0.0053	0.0052	0.0051	0.0050	0.0049	0.0048	0.0047
7.00	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051	0.0050	0.0050	0.0049	0.0048	0.0047	0.0047	0.0046	0.0045
7.25	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0047	0.0047	0.0046	0.0046	0.0045	0.0044	0.0044	0.0043
7.50	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0044	0.0044	0.0044	0.0043	0.0043	0.0042	0.0041	0.0041
7.75	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0041	0.0041	0.0040	0.0040	0.0039	0.0039

$\frac{h}{a}$	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
8.00	0.0039	0.0039	0.0039	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0038	0.0038	0.0038	0.0037
8.25	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0036	0.0036	0.0036	0.0035
8.50	0.0032	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0034	0.0034	0.0034
8.75	0.0034	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0032	0.0032
9.00	0.0030	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031
9.25	0.0028	0.0029	0.0029	0.0029	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0029	0.0029
9.50	0.0027	0.0027	0.0027	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
9.75	0.0025	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027
10.00	0.0024	0.0024	0.0024	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
10.25	0.0022	0.0023	0.0023	0.0023	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024
10.50	0.0021	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
10.75	0.0020	0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022
11.00	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
11.25	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
11.50	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
11.75	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018
12.00	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018
12.25	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017
12.50	0.0014	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016
12.75	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
13.00	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015
13.25	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
13.50	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014
13.75	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
14.00	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013
14.25	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
14.50	0.0009	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012
14.75	0.0009	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011
15.00	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011

ANEXA. I (continuare)

L. FUNCȚIILE $\frac{x(\alpha)}{4 \times 0,62}$ și $\frac{x'(\alpha)}{4 \times 0,62}$

α grade	$\frac{x(\alpha)}{4 \times 0,62}$	$\frac{x'(\alpha)}{4 \times 0,62}$	α grade	$\frac{x(\alpha)}{4 \times 0,62}$	$\frac{x'(\alpha)}{4 \times 0,62}$
1	0.02814	0.00024	46	0.98649	0.37532
2	0.05626	0.00098	47	0.99704	0.38643
3	0.08434	0.00220	48	1.00710	0.39741
4	0.11234	0.00392	49	1.01668	0.40824
5	0.14025	0.00611	50	1.02580	0.41891
6	0.16805	0.00879	51	1.03446	0.42941
7	0.19570	0.01194	52	1.04267	0.43973
8	0.22319	0.01556	53	1.05044	0.44986
9	0.25050	0.01964	54	1.05778	0.45978
10	0.27760	0.02417	55	1.06471	0.46949
11	0.30448	0.02915	56	1.07123	0.47897
12	0.33110	0.03457	57	1.07735	0.48823
13	0.35746	0.04041	58	1.08310	0.49724
14	0.38353	0.04667	59	1.08847	0.50600
15	0.40929	0.05333	60	1.09848	0.51451
16	0.43472	0.06039	61	1.09815	0.52270
17	0.45981	0.06782	62	1.10249	0.53074
18	0.48454	0.07561	63	1.10650	0.53846
19	0.50889	0.08376	64	1.11021	0.54589
20	0.53285	0.09224	65	1.11362	0.55304
21	0.55640	0.10105	66	1.11675	0.55991
22	0.57952	0.11016	67	1.11962	0.56649
23	0.60221	0.11955	68	1.12222	0.57279
24	0.62446	0.12922	69	1.12459	0.57879
25	0.64624	0.13915	70	1.12672	0.58450
26	0.66755	0.14931	71	1.12864	0.58991
27	0.68838	0.15970	72	1.13036	0.59504
28	0.70872	0.17029	73	1.13188	0.59986
29	0.72857	0.18106	74	1.13322	0.60439
30	0.74791	0.19200	75	1.13440	0.60863
31	0.76674	0.20309	76	1.13542	0.61258
32	0.78505	0.21431	77	1.13630	0.61624
33	0.80285	0.22565	78	1.13704	0.61960
34	0.82012	0.23708	79	1.13767	0.62268
35	0.83686	0.24859	80	1.13819	0.62548
36	0.85308	0.26015	81	1.13861	0.62799
37	0.86877	0.27176	82	1.13895	0.63022
38	0.88393	0.28340	83	1.13920	0.63218
39	0.89856	0.29504	84	1.13940	0.63386
40	0.91267	0.30666	85	1.13953	0.63527
41	0.92626	0.31827	86	1.13962	0.63642
42	0.93933	0.32983	87	1.13968	0.63731
43	0.95188	0.34133	88	1.13971	0.63794
44	0.96392	0.35275	89	1.13972	0.63831
45	0.97546	0.36409	90	1.13972	0.63844

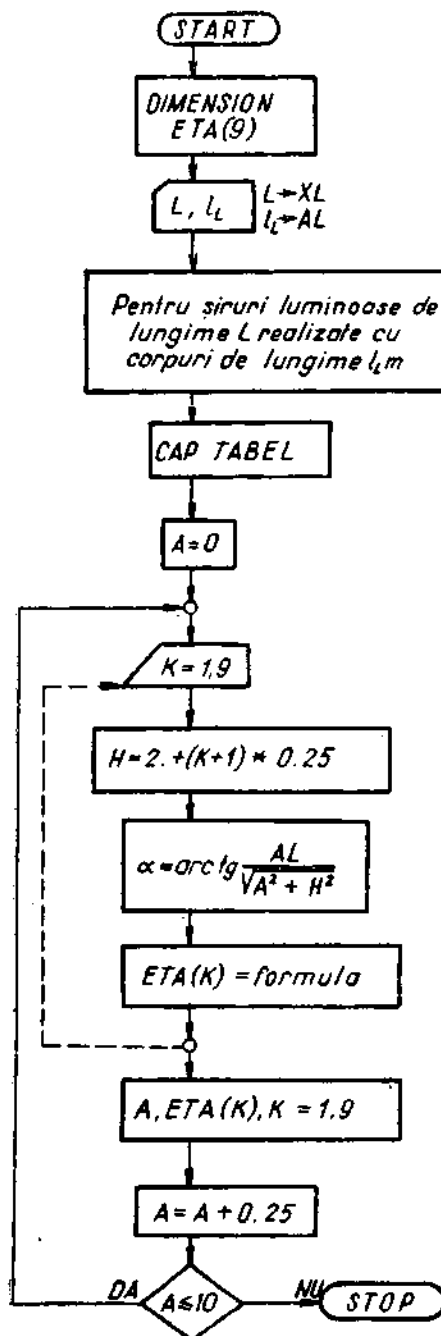
ANEXA I (continuare)

grade	$\frac{x(a)}{4 \times 1,25}$	$\frac{x'(a)}{4 \times 1,25}$	grade	$\frac{x(a)}{4 \times 1,25}$	$\frac{x'(a)}{4 \times 1,25}$
1	0.01396	0.00012	46	0.48930	0.18615
2	0.02790	0.00048	47	0.49453	0.19167
3	0.04183	0.00109	48	0.49952	0.19711
4	0.05572	0.00194	49	0.50427	0.20248
5	0.06956	0.00303	50	0.50879	0.20778
6	0.08335	0.00436	51	0.51309	0.21299
7	0.09707	0.00592	52	0.51716	0.21811
8	0.11070	0.00771	53	0.52102	0.22313
9	0.12425	0.00974	54	0.52466	0.22805
10	0.13769	0.01199	55	0.52809	0.23286
11	0.15102	0.01446	56	0.53133	0.23757
12	0.16422	0.01714	57	0.53437	0.24216
13	0.17730	0.02004	58	0.53721	0.24663
14	0.19023	0.02315	59	0.53988	0.25097
15	0.20300	0.02645	60	0.54236	0.25520
16	0.21562	0.02995	61	0.54468	0.25929
17	0.22806	0.03363	62	0.54683	0.26325
18	0.24033	0.03750	63	0.54882	0.26707
19	0.25241	0.04154	64	0.55066	0.27076
20	0.26429	0.04575	65	0.55235	0.27431
21	0.27597	0.05012	66	0.55391	0.27771
22	0.28744	0.05463	67	0.55533	0.28098
23	0.29870	0.05930	68	0.55662	0.28410
24	0.30973	0.06409	69	0.55779	0.28708
25	0.32053	0.06902	70	0.55885	0.28991
26	0.33110	0.07406	71	0.55980	0.29259
27	0.34143	0.07921	72	0.56065	0.29513
28	0.35152	0.08446	73	0.56141	0.29753
29	0.36137	0.08980	74	0.56208	0.29978
30	0.37096	0.09523	75	0.56266	0.30188
31	0.38030	0.10073	76	0.56317	0.30384
32	0.38938	0.10630	77	0.56360	0.30565
33	0.39821	0.11192	78	0.56397	0.30732
34	0.40678	0.11759	79	0.56428	0.30885
35	0.41508	0.12330	80	0.56454	0.31023
36	0.42312	0.12903	81	0.56475	0.31148
37	0.43091	0.13479	82	0.56491	0.31259
38	0.43843	0.14056	83	0.56504	0.31356
39	0.44569	0.14633	84	0.56514	0.31439
40	0.45268	0.15210	85	0.56521	0.31509
41	0.45942	0.15786	86	0.56525	0.31566
42	0.46590	0.16359	87	0.56528	0.31610
43	0.47213	0.16929	88	0.56529	0.31641
44	0.47810	0.17496	89	0.56530	0.31660
45	0.48382	0.18058	90	0.56530	0.31666

ANEXA 1 (continuare)

grade	$\frac{x(a)}{4 \times 1,55}$	$\frac{x'(a)}{4 \times 1,55}$	grade	$\frac{x(a)}{4 \times 1,55}$	$\frac{x'(a)}{4 \times 1,55}$
1	0.01125	0.00009	46	0.39459	0.15012
2	0.02250	0.00039	47	0.39881	0.15457
3	0.03373	0.00088	48	0.40284	0.15896
4	0.04493	0.00156	49	0.40667	0.16329
5	0.05610	0.00244	50	0.41032	0.16756
6	0.06722	0.00351	51	0.41378	0.17176
7	0.07828	0.00477	52	0.41706	0.17589
8	0.08927	0.00622	53	0.42017	0.17994
9	0.10020	0.00785	54	0.42311	0.18391
10	0.11104	0.00967	55	0.42588	0.18779
11	0.12179	0.01166	56	0.42849	0.19159
12	0.13244	0.01383	57	0.43094	0.19529
13	0.14298	0.01616	58	0.43324	0.19889
14	0.15341	0.01867	59	0.43538	0.20240
15	0.16371	0.02133	60	0.43739	0.20580
16	0.17389	0.02415	61	0.43926	0.20910
17	0.18392	0.02712	62	0.44099	0.21229
18	0.19381	0.03024	63	0.44260	0.21538
19	0.20355	0.03350	64	0.44408	0.21835
20	0.21314	0.03689	65	0.44545	0.22121
21	0.22256	0.04042	66	0.44670	0.22396
22	0.23181	0.04406	67	0.44784	0.22659
23	0.24088	0.04782	68	0.44889	0.22911
24	0.24978	0.05169	69	0.44983	0.23151
25	0.25849	0.05566	70	0.45069	0.23380
26	0.26702	0.05972	71	0.45145	0.23596
27	0.27535	0.06388	72	0.45214	0.23801
28	0.28349	0.06811	73	0.45275	0.23994
29	0.29142	0.07242	74	0.45329	0.24175
30	0.29916	0.07680	75	0.45376	0.24345
31	0.30669	0.08123	76	0.45416	0.24503
32	0.31402	0.08572	77	0.45452	0.24649
33	0.32114	0.09026	78	0.45481	0.24784
34	0.32804	0.09483	79	0.45507	0.24907
35	0.33474	0.09943	80	0.45527	0.25019
36	0.34123	0.10406	81	0.45544	0.25119
37	0.34750	0.10870	82	0.45558	0.25209
38	0.35357	0.11336	83	0.45568	0.25287
39	0.35942	0.11801	84	0.45576	0.25354
40	0.36507	0.12266	85	0.45581	0.25411
41	0.37050	0.12730	86	0.45585	0.25457
42	0.37573	0.13193	87	0.45587	0.25492
43	0.38075	0.13653	88	0.45588	0.25517
44	0.38556	0.14110	89	0.45588	0.25532
45	0.39018	0.14563	90	0.45588	0.25537

M. SCHEMA LOGICĂ (ALGORITMUL PENTRU CALCUL CU ȘIRURI LUMINOASE)



ANEXA 1 (continuare)

N. PROGRAMUL DE CALCUL PENTRU DETERMINAREA COMPONENTEI DIRECTE
LA ȘIRURI LUMINOSE

```

DIMENSION ETA (9)
READ 1, AL, XL
1 FØRMAT (2F5.2)
PRINT 2, AL, XL
2 FØRMAT (//5X, 'PENTRU CORPURI LUMINOASE DE LUNGIME, F6.2,
  ' REALIZATE CU CORPURI DE', F5.3, 'METRI')
PRINT 3
3 FØRMAT (///8X, ' H=2.00 H=2.25 H=2.50 H=2.75,
  1, 'H=3.00 H=3.25 H=3.50 H=3.75 H=4.00'///)
A=0
12 CØNTINUE
D Ø 11 K=1,9
H=2.+(K-1)*0.25
ALFA=ATAN (AL/SQRT(A*A+H*H))
CS=CØS(ALFA)
SN=SIN(ALFA)
ETA(K)=0.67*H/XL/(A*A+H*H)*(11./8.*ALFA+11./8.*SN*CS+Sn*(CS**
  13/4.+CS*CS/3.+2./3.))
PRINT 4, A, ETA
4 FØRMAT (2X, F6.2, 9F9.3)
A=A+0.25
IF(A.LE.10)GØ TØ12
STØP
END

```


A. NIVELURI DE ILUMINARE PENTRU CONSTRUCȚII CIVILE
(CONFORM STAS 6646-66)

Denumirea și destinația	Valoarea minimă a iluminării medii [lx]		Suprafețele la care se referă iluminarea
	lămpi fluoresc.	lămpi incandesc.	
1	2	3	4
A. Clădiri de locuit			
— Camere de dormit* în clădirile de locuit, hoteluri		30	la 0,85—1 m de la pardoseală, în plan orizontal
— Camere de zi în clădirile de locuit, la oglindă în camerele de baie	—	50	idem
— Camere de zi în cămine și internate	—	100	idem
— Camere în case de odihnă (camere de dormit, sufragerii)	150	50	idem
— Camere de jocuri, lectură	300	150	
— Holul principal la hoteluri	200	75	la nivelul pardoselii
B. Clădiri administrative			
— Birouri*, săli de ședință, săli de lucru la bănci, CEC, serv. poștale, arhive (pe masa de lucru)	200	75	la 0,85—1 m de la pardoseală, în plan orizontal
— Birouri în care se lucrează cu mașini de scris, de calculat, săli de desen, de proiectare	300	150	idem
— Camere de primire, săli de așteptare, încăperile org. obștești etc.	150	50	idem
— Arhive, depozite, la rafturi	—	30	pe o supraf. de 2 m de la pardoseală în plan vertical pe raft
— Timbre, tutun, bufet	200	75	0,85—1 m de la pardoseală, în plan orizontal

ANEXA 2 (continuare)

1	2	3	4
C. Clădiri comerciale			
— Săli de vânzare în magazine de confecții, lenjerie, încălțăminte, țesături, blănărie, pălării, parfumerie, librărie, alimentare	250	150	0,85—1 m de la pardoseală, în plan orizontal
— Articole de menaj și mobilă	200	100	idem
— Vitrinele magazinelor în funcție de cerințele plastice și iluminatul străzii	500— 2000	200— 500	idem
— Restaurante (săli de consum)	300	100	idem
— Braserii, pensiuni, cafenele, bufete, cofetării	200	75	idem
— Incăperi pentru prepararea mâncărilor, prăjiturilor, predarea alimentelor, spălarea vaselor, bucătării	200	75	idem
— Săli de frizerie*	200	100	idem
— Spălătorii:			
încăperi pentru spălat	—	50	idem
încăperi pentru călcat	200	100	idem
uscătorii	—	30	la nivelul pardoselii
— Antrepozite, frigorigere, depozite de alimente	100	30	idem
D. Social-culturale			
a) Instituții medicale:			
— Săli de operații (iluminat general)	300	150	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
Săli de operații (cimp de operații)	—	3000	
— Cabinete medicale* pentru consultații, pansamente, instrumente, bolnavi, nașteri, autopsii, camere de gardă, farmacii, izolare	200	100	idem
— Săli de radiografie	—	30	idem
— Săli de sterilizare	—	50	idem
— Laboratoare, diagnosticare*, analize, farmacii pentru preparat medicamente	300	150	idem
— Camere medici, surori	—	50	idem
— Camere pentru dezinfecții	—	50	idem
— Camere de așteptare, recepție	—	50	idem
— Saloane bolnavi (iluminat general)	—	30	idem
— Saloane bolnavi (iluminat de noapte)	—	2	idem
— Incăperi pentru primirea rețetelor și predarea medicamentelor la farmacii	200	100	idem
b) Institute de învățământ și cercetări:			
— Cabinetele profesorilor, secretariat	200	75	idem
— Săli de curs (pe bănci și la tabla de scris, de lucru, amfiteatre, auditorii, seminare, ateliere de studiu)	300	100	idem

ANEXA 2 (continuare)

1	2	3	4
— Laboratoare	300	150	idem
— Sală de gimnastică, festivități	200	75	la nivelul pardoselii
— Sală de recreație	—	50	idem
— Sală de desen	400	200	0,85—1 m de la nivelul pardoselii în plan orizontal
— Săli de lucru manual	400	200	idem
— Săli de lectură, meditații, bibliotecă	300	150	idem
— Depozite de cărți	—	50	pe o suprafață de 2 m de la pardoseală în plan orizontal
— Muzeu, expoziție	300	150	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
— Depozit de material didactic	—	30	la nivelul pardoselii
— Birouri administrative*, organizații de masă	200	75	0,85—1 m de la pardoseală, în plan orizontal
— Cabinet medical*	200	100	idem
c) Creșe, grădinițe de copii, cămine de zi:			
— Cameră de grupă, săli de joc, spectacol, săli de masă	300	100	idem
— Dormitoare	—	30	idem
— Camere de primire și alăptare	150	50	idem
— Infirmerie, camere de izolare	—	75	idem
— Cabinet medical*	200	100	idem
— Camere de îngrijitoare	—	50	idem
— Depozite de materiale	—	30	la nivelul pardoselii
d) Băi publice:			
— Încăperi de dezbrăcare și îmbrăcare, săli de dușuri, băi, masaj hidroterapie	—	50	idem
— Săli cu bazine	200	100	idem
— Săli abur, aer cald	—	75	idem
— Camere odihnă	—	30	idem
— Camere dezinfectare-depozitare	—	50	idem
— Depozite rufe	—	30	0,85—1 m de la pardoseală, în plan orizontal
— Săli de așteptare	—	50	idem
e) Cantine:			
— Săli de mese	200	75	idem
— Încăperi de prepararea mâncării, eliberarea alimentelor, spălare vase, bucătărie	200	75	idem
— Depozite frigorifice pentru alimente	100	30	la nivelul pardoselii
f) Biblioteci publice:			
— săli de lectură	250	100	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
— Săli pentru cataloage și fișiere	200	100	idem
— Cabinete de studii* și informații bibliografice	250	100	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
— Birouri pentru personal	200	75	idem

ANEXA 2 (continuare)

1	2	3	4
- Ateliere legatorie - Ateliere foto - Expoziție cărți - Depozite cărți	200 — 250 —	100 30 100 50	idem idem idem pe o suprafață de 2 m de la pardoseală, în plan vertical pe rafturi
g) Muzee, expoziții :			
- Săli de expunere	300	150	0,85—1 m de la pardoseală, în plan orizontal și pe expozat în plan vertical
- Săli de studiu* - Laborator și ateliere - Depozite	200 300 —	100 150 50	idem idem la nivelul pardoseli
h) Teatre, cinematografe, clase de cultură, cluburi, cămine culturale :			
- Săli de spectacol - Teatre, săli de concert, case de cultură, cămine culturale	200	50	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
- Cinematografe - Auditorii, conferințe - <i>Cercuri de studii, de muzică și artă dramatică etc.</i>	150 200 200	30 100 100	idem idem idem
- Săli sport și gimnastică - Săli de expoziții - Foaier : - teatre, săli de concert - cinematografe, case de cultură - holuri	200 300 200 150 200— 300	75 150 100 75 100— 150	idem idem idem la nivelul pardoseli idem idem
- Birouri administrație - Cabine artiști* - Săli de repetiție - Case de bilete - Depozite instrumente, decoruri, material sportiv, costume etc.	200 — 200 200 —	75 100 100 75 50	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal idem idem idem la nivelul pardoseli
E. Clădiri pentru comunicații (gări auto, aero, fluviale, maritime, căi ferate, clădiri pentru PTT, radio, televiziune ș.a.) :			
- Holuri cu ghișee	300	150	0,85—1 m de la pardoseală pe plan orizontal
- Săli de așteptare - Birouri exploatare și administrative	150 200	50 75	la nivelul pardoseli 0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
- Săli vamă - Birouri informații - Centrale telefonice cu cabine	200 200 200	75 75 100	idem idem idem

ANEXA 2 (continuare)

1	2	3	4
— în cabine telefonice	—	30	idem
— Case de bilete	200	75	idem
— Depozite bagaje, colete	—	30	la nivelul pardoselii
F. Incăperi auxiliare ale clădirilor de locuit administrative, comerciale, social-culturale și industriale:			
a) Vestiare și garderobe:			
— Teatre, săli de concert, restaurante	150	50	la nivelul pardoselii
— Institute de învățământ, cluburi, muzee, expoziții	150	50	idem
— Policlinici, cinematografe, clădiri civile și industriale	150	30	idem
b) Scări și coridoare:			
— Scări și coridoare principale la teatre, săli de concert, institute de învățământ	200	75	pe ordine și pe treptele scărilor, iar pentru coridoare la nivelul pardoselii
— Idem la alte categorii de clădiri civile și industriale	50	20	idem
— Idem, precum și scările clădirilor de locuit	50	10	idem
c) Bucătării:			
— Incăperile pentru gătit ale întreprinderilor de alimentație publică, bucătării la creșe, cămine, internate, spitale etc.	200	75	0,85—1 m de la nivelul pardoselii în plan orizontal
— Bucătării din locuințe	200	50	la nivelul pardoselii
— Depozite frigorifice pentru alimente	100	30	idem
— Camere în locuințe	—	30	idem
— Oficii	—	50	idem
d) Grupuri sanitare:			
— în clădiri civile și industriale	—	30	idem
— în locuințe	—	30	idem
e) Spălătorii, uscătorii, călcatorie:			
— Incăperi de spălătorie	—	50	idem
— Incăperi pentru uscat	—	30	idem
— Incăperi pentru călcat	200	100	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
f) Cabine ascensoare	—	30	la nivelul pardoselii
g) Centrale termice, de ventilație	—	50	idem
h) Diverse încăperi:			
— cabine portar și informații	—	50	0,85—1 m de la pardoseală în plan orizontal
— centrală telefonică	—	50	idem
— Magazie de materiale	—	30	la nivelul pardoselii
— Boxe pivniță, subsol	—	20	idem
— Depozite combustibil	—	20	idem
— Cameră depozit gunoi	—	5	idem
— Cameră pentru bufet	—	50	idem

ANEXA 2 (continuare)

1	2	3	4
G. Clădiri pentru sport			
Săli pentru	Antrena-	Concurs	Indiferent de natura
	ment		surselor
— Tenis	350— 500	350— 500	la nivelul pardoselii
— Handbal, baschetbal, voleibal	100	250— 500	idem
— Tenis de masă	250	500	idem
— Gimnastică la aparate și la sol cu lumina numai de sus	100	250— 500	la nivelul terenului
— Ciclism, călărie, scrimă	100	250— 500	Idem
— Box	—	2000— 5000	idem
Popice :			
— Scîndură de rulaj	50	100	suprafața de rulaj
— Crucea popicelor	100	250	suprafața verticală
— Hochei pe gheață, patinaj artistic	100	250	la nivelul terenului
Tir :			
— Locul trăgătorului	—	100	la nivelul de tragere
— Ținta	—	500	suprafața verticală
— Traseul traiectoriei	—	50	—
Înot :			
— Deasupra apei	100— 150	250	—
— Sub apă (la suprafață)	1000	1000	
— Locul spectatorilor	—	30	

Obs. — Natura surselor luminoase pentru categoria G (clădiri sport) se va alege în funcție de nivelul de iluminare și condițiile de confort vizual.

— În încăperile notate cu* este necesar un iluminat suplimentar local (prize).

— Alte încăperi neprevăzute în tabel se vor încadra în funcție de specificul lor.

ANEXA 2 (continuare)

B. NIVELURI DE ILUMINARE PENTRU CONSTRUCȚII INDUSTRIALE
(CONFORM STAS 6646-66)

Categoriea de muncă	Contrast între detaliu și fond	Grad de luminozitate a suprafeței fondului pe care se distinge detaliul	Valoarea minimă admisibilă a iluminării medii, [lx]			
			Lămpi fluo- rescente de j.p. și l.p.		Lămpi incandescente	
			iluminat			
			combinat sau localizat	numai general	combinat sau localizat	numai general
1	2	3	4	5	6	7
I. Lucru de precizie deosebită (detalii sub 0,1 mm)	a — mic	întunecat	3 000	750	1 500	300
	b — $\frac{\text{mic}}{\text{mediu}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	2 000	750	1 000	300
	c — $\frac{\text{mediu}}{\text{mare}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	1 500	500	750	300
	d — mare	luminos	750	300	400	150
II. Lucru de mare precizie (detalii între 0,1 ... 0,3 mm)	a — mic	întunecat	2 000	750	1 000	300
	b — $\frac{\text{mic}}{\text{mediu}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	1 000	400	500	150
	c — $\frac{\text{mediu}}{\text{mare}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	750	200	400	100
	d — mare	luminos	500	200	300	75
III. Lucru de precizie (detalii între 0,3 ... 1 mm)	a — mic	întunecat	1 000	300	500	150
	b — $\frac{\text{mic}}{\text{mediu}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	750	200	400	100
	c — $\frac{\text{mediu}}{\text{mare}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	500	200	300	75
	d — mare	luminos	400	200	200	50

ANEXA 2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7
IV. Lucru de precizie mică (detalii între 1 ... 10 mm)	a — mic	întunecat	—	150	150	50
	b — $\frac{\text{mic}}{\text{mediu}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	—	150	150	50
	c — $\frac{\text{mediu}}{\text{mare}}$	$\frac{\text{luminos}}{\text{întunecat}}$	—	150	100	50
	d — mare	luminos	—	150	100	50
V. Lucru brut (detalii peste 10 mm)	Indiferent de factorul de reflexie al fondului și de contrastul dintre obiect și fond		—	150	100	50
VI. Lucrări care necesită supraveghere generală a procesului de producție	idem		—	75	—	20

Observație : — Valorile din acest tabel sînt valabile indiferent de poziția planului de lucru (orizontal, vertical sau înclinat). În cazul în care nu se face nici o precizare specială asupra nivelului planului de lucru, sau dacă locul de lucru are o poziție mobilă, iluminările date în tabel se consideră valabile pentru întreg planul unde se execută lucru, situat la 0,85 ... 1 m înălțime de la nivelul pardoselii pentru încăperile de producție; la nivelul pardoselii pentru coridoare, scări, pasaje, căi interioare de transport, garaje, depozite de mărfuri cu bucată etc., precum și în încăperile unde se efectuează lucrul la sol.

— În valorile indicate pentru iluminatul combinat se cuprind și iluminările date de iluminatul general.

— Prin dimensiunile detaliilor se înțeleg mărimile anumitor părți ale obiectivului privit și care trebuie distinse (de exemplu firul unei țesături, un punct, o pată, o cifră sau o literă etc.).

— Gradul de luminozitate a suprafeței detaliului sau fondului se consideră: întunecat — pentru un factor de reflexie de maximum 0,3; luminos — idem, de minimum 0,3.

— Contrastul între detaliu și fond se consideră: mic — pentru valori sub 0,2 (nuanțele culorilor detaliului și fondului se disting slab una de alta); mediu — pentru 0,2 ... 0,5 (se disting clar); mari — pentru valori peste 0,5 (se disting foarte bine).

ANEXA 2 (continuare)

C. NIVELURI DE ILUMINARE PENTRU ILUMINATUL EXTERIOR

Caracteristicile străzilor	Tipul iluminării	Nivelul mediu recomandat, [lx]		Factor de uniformitate	
		Factor de reflexie al acoperământului*		$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$
		$\rho > 0,2$	$\rho < 0,2$		
1. Străzi centrale (principale) în orașe de grupa I, străzi cu trafic intens (peste 1 000 vehicule/h și sens)	intens	10	20	1:2,5	1:5
2. Străzi centrale (principale) în orașe de grupa II-a, străzi situate în zonele de clădiri cu multe etaje, cu un număr mare de instituții, magazine etc. în orașele din grupa I și II, străzi cu circulație importantă (500 vehicule/h și sens).	ridicat	7	12	1:3	1:6
3. Străzi centrale (principale) în orașe de grupa III, străzi în zonele cu construcții mixte, în care predomină cele cu mai multe etaje, în orașele din grupele I și II, ca și străzile cu circulație medie.	mediu	5	10	1:3	1:6
4. Străzi comerciale fără circulație mare de vehicule, însă cu circulație intensă de pietoni.	mediu	4	8	1:3	1:6
5. Străzi cu trafic redus	redus	3	6	1:3	1:6

*) Factorii de reflexie ai acoperămintelor uzuale :

ciment-beton	0,2—0,35
piatră-granit	0,2—0,25
bitum	0,1—0,20
asfalt	0,08—0,15
asfalt negru	0,05—0,06

Observație : — Pentru arterele deosebit de importante nivelul de iluminare mediu se poate ridica cu 50 %.

— La intersecții principale și piețe mari nivelul de iluminare mediu se va ridica cu 50% față de străzile adiacente

— Gruparea orașelor în categorii se face astfel : grupa I — București și municipiile țării ; grupa II — capitale de județ, orașele cu peste 25 000 locuitori, stațiunile turistice și balneoclimaterice importante ; grupa III — restul orașelor.

ANEXA 2 (continuare)

D. NIVELURI DE ILUMINARE PENTRU ILUMINATUL DE SIGURANȚĂ (ILUMINAT DE AVARIE ȘI ILUMINAT DE EVACUARE, CONFORM STAS 6646-66)

Felul iluminatului	Valoarea iluminării	Suprafața la care se referă nivelul de iluminare
1. Iluminatul de avarie pentru continuarea lucrului:		
— în general	10% din valorile prevăzute în tab. A și B la iluminatul incandescent	pe planul de lucru
— în cazuri speciale	după necesitate	idem
— grup operator la spitale sau sanatorii	80% din valoarea prevăzută în tab. A pentru cazul respectiv	idem
— cimp operator	100% din valoarea prevăzută în tab. A pentru cazul respectiv	idem
2. Iluminatul de evacuare:		
— în general	0,2 lx	la nivelul pardoselii
— creșe, industrii, săli de spectacol cu mai mult de 400 locuri și pe traseele de evacuare respective	0,3 lx	idem

E. FACTORI DE UTILIZARE PENTRU ILUMINAT CU LĂMPI INCANDESCENTE ÎN GENERAL

Sistemul de iluminat	η_t		0,7			0,5			0,3			K/A
	η_p		0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	
	η_c	i	Factori de utilizare, u									
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
Direct (lămpi normale în reflectoare oglindate)	0 ↑ 80 ↓ 80	1,0	0,31	0,29	0,26	0,31	0,28	0,26	0,31	0,28	0,26	1,25
		1,2	0,35	0,32	0,30	0,35	0,32	0,30	0,35	0,32	0,30	
		1,5	0,40	0,37	0,36	0,39	0,37	0,35	0,39	0,37	0,35	
		2	0,46	0,44	0,42	0,46	0,44	0,42	0,45	0,44	0,42	
		2,5	0,50	0,48	0,47	0,49	0,48	0,47	0,49	0,48	0,47	
		3	0,53	0,51	0,50	0,52	0,51	0,50	0,52	0,51	0,50	0,8
		4	0,56	0,55	0,54	0,55	0,54	0,54	0,55	0,54	0,53	
		6	0,59	0,59	0,58	0,59	0,59	0,56	0,58	0,57	0,56	
		8	0,61	0,60	0,59	0,60	0,60	0,59	0,60	0,60	0,59	
		10	0,62	0,61	0,61	0,62	0,61	0,60	0,62	0,61	0,60	

ANEXA 2 (continuare)

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
Direct	0 ↑ 75 ↓ 75	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,20 0,24 0,28 0,33 0,37 0,40 0,45 0,50 0,53 0,55	0,17 0,20 0,24 0,30 0,34 0,37 0,42 0,48 0,51 0,54	0,15 0,17 0,21 0,27 0,31 0,35 0,40 0,46 0,50 0,53	0,20 0,23 0,27 0,33 0,37 0,40 0,44 0,49 0,52 0,55	0,17 0,20 0,24 0,30 0,33 0,37 0,42 0,48 0,51 0,54	0,15 0,17 0,21 0,27 0,31 0,35 0,40 0,46 0,50 0,53	0,20 0,23 0,27 0,32 0,36 0,39 0,44 0,49 0,52 0,54	0,17 0,20 0,24 0,29 0,33 0,37 0,42 0,48 0,51 0,54	0,14 0,17 0,21 0,27 0,31 0,35 0,40 0,46 0,50 0,53	1,25 0,8
Semidirect	17 ↑ 80 ↓ 63	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,18 0,21 0,25 0,30 0,34 0,37 0,40 0,45 0,48 0,48	0,15 0,18 0,22 0,27 0,31 0,39 0,38 0,44 0,47 0,49	0,13 0,16 0,19 0,24 0,28 0,31 0,36 0,42 0,45 0,48	0,17 0,20 0,24 0,28 0,32 0,35 0,39 0,43 0,46 0,48	0,14 0,17 0,21 0,26 0,29 0,32 0,37 0,41 0,46 0,47	0,13 0,15 0,18 0,23 0,27 0,30 0,35 0,40 0,44 0,46	0,17 0,19 0,22 0,27 0,30 0,32 0,37 0,41 0,44 0,45	0,14 0,16 0,20 0,25 0,28 0,30 0,35 0,39 0,42 0,45	0,12 0,14 0,17 0,22 0,26 0,29 0,33 0,39 0,41 0,44	1,35 0,74
Mixt	42 ↑ 80 ↓ 38	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,17 0,21 0,25 0,30 0,33 0,35 0,40 0,44 0,46 0,48	0,15 0,18 0,23 0,27 0,30 0,33 0,38 0,43 0,46 0,47	0,13 0,16 0,19 0,24 0,28 0,31 0,36 0,41 0,45 0,46	0,16 0,18 0,22 0,26 0,29 0,32 0,36 0,39 0,41 0,43	0,13 0,16 0,19 0,24 0,27 0,30 0,33 0,38 0,40 0,42	0,11 0,14 0,17 0,22 0,25 0,28 0,32 0,37 0,40 0,41	0,14 0,16 0,19 0,23 0,25 0,27 0,31 0,34 0,36 0,37	0,12 0,14 0,17 0,21 0,24 0,26 0,30 0,33 0,36 0,37	0,10 0,12 0,16 0,19 0,23 0,25 0,28 0,33 0,35 0,37	1,30 0,77
Mixt	39 ↑ 80 ↓ 41	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,13 0,15 0,19 0,23 0,25 0,27 0,31 0,35 0,37 0,39	0,10 0,12 0,15 0,19 0,22 0,24 0,28 0,32 0,35 0,37	0,08 0,10 0,13 0,17 0,19 0,21 0,25 0,28 0,33 0,35	0,12 0,13 0,16 0,19 0,21 0,24 0,26 0,29 0,33 0,34	0,09 0,11 0,13 0,17 0,19 0,21 0,25 0,28 0,31 0,33	0,07 0,09 0,12 0,14 0,17 0,19 0,22 0,25 0,29 0,31	0,06 0,08 0,10 0,12 0,14 0,16 0,19 0,23 0,25 0,27	0,06 0,07 0,09 0,12 0,14 0,16 0,19 0,23 0,25 0,27	0,05 0,07 0,09 0,12 0,13 0,15 0,18 0,22 0,25 0,27	1,45 0,69

ANEXA 2 (continuare)

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
Semidirect	59 ↑ 80 ↓ 21	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,12 0,14 0,17 0,20 0,23 0,25 0,28 0,31 0,34 0,35	0,09 0,12 0,15 0,18 0,20 0,22 0,24 0,29 0,32 0,33	0,08 0,10 0,12 0,16 0,19 0,20 0,22 0,28 0,31 0,32	0,10 0,14 0,14 0,16 0,19 0,20 0,22 0,25 0,27 0,28	0,08 0,09 0,12 0,14 0,17 0,18 0,20 0,24 0,26 0,27	0,06 0,08 0,10 0,13 0,15 0,17 0,19 0,22 0,24 0,26	0,05 0,06 0,07 0,09 0,11 0,12 0,14 0,17 0,19 0,20	0,04 0,05 0,07 0,09 0,11 0,12 0,14 0,17 0,19 0,19	0,04 0,05 0,07 0,09 0,11 0,12 0,14 0,17 0,19 0,19	1,50 0,665
Indirect	80 ↑ 80 ↓ 0	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,11 0,13 0,16 0,19 0,22 0,24 0,26 0,29 0,31 0,32	0,09 0,11 0,14 0,17 0,20 0,22 0,25 0,29 0,30 0,31	0,08 0,10 0,12 0,16 0,18 0,20 0,23 0,27 0,29 0,30	0,08 0,10 0,11 0,13 0,15 0,17 0,19 0,21 0,22 0,23	0,07 0,08 0,10 0,12 0,14 0,15 0,18 0,20 0,21 0,22	0,06 0,07 0,09 0,11 0,13 0,14 0,17 0,19 0,21 0,22	0,05 0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,12 0,13 0,13	0,04 0,05 0,06 0,07 0,08 0,09 0,11 0,12 0,13 0,13	0,05 0,04 0,05 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,12 0,13	1,55 0,645
Indirect (scafe cu lămpi normale)	75 ↑ 75 ↓ 0	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,07 0,08 0,10 0,12 0,13 0,15 0,16 0,18 0,19 0,20	0,05 0,07 0,09 0,10 0,12 0,13 0,15 0,17 0,18 0,18	0,04 0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,12 0,16 0,17	0,04 0,05 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,12 0,13 0,13	0,03 0,04 0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,12 0,12 0,12	0,03 0,04 0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,11 0,11	0,02 0,03 0,05 0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,11	0,02 0,03 0,04 0,04 0,05 0,05 0,06 0,07 0,07 0,07	0,02 0,02 0,03 0,04 0,04 0,05 0,05 0,06 0,07 0,07	1,65 0,605
Indirect (scafe cu lămpi oglindate)	85 ↑ 85 ↓ 0	1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 6 8 10	0,11 0,12 0,14 0,17 0,20 0,21 0,23 0,26 0,27 0,28	0,08 0,10 0,12 0,12 0,16 0,19 0,21 0,24 0,26 0,27	0,07 0,08 0,10 0,10 0,16 0,17 0,20 0,22 0,24 0,25	0,07 0,08 0,10 0,10 0,13 0,14 0,16 0,17 0,18 0,19	0,06 0,07 0,08 0,08 0,12 0,13 0,14 0,16 0,17 0,18	0,05 0,06 0,07 0,07 0,11 0,12 0,13 0,14 0,15 0,16	0,04 0,05 0,06 0,06 0,11 0,12 0,13 0,14 0,15 0,16	0,03 0,04 0,05 0,05 0,07 0,08 0,09 0,10 0,10 0,11	0,03 0,03 0,04 0,04 0,07 0,07 0,08 0,08 0,10 0,10	1,55 0,645

ANEXA 2 (continuare)

F. FACTORI DE UTILIZARE PENTRU ILUMINAT CU LĂMPI FLUORESCENTE
IN GENERAL

Sistemul de iluminat	η_t		0,70			0,50			0,30			K/Δ
	c_p		0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	
	η_c	i	Factori de utilizare, u									
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
Direct	0 ↑ 75 ↓ 75	1	0,18	0,15	0,12	0,18	0,15	0,12	0,17	0,15	0,12	1,35/ 0,74
		1,2	0,21	0,18	0,15	0,21	0,18	0,15	0,20	0,18	0,15	
		1,5	0,25	0,22	0,19	0,25	0,22	0,19	0,24	0,21	0,19	
		2	0,30	0,27	0,24	0,30	0,27	0,24	0,29	0,26	0,24	
		2,5	0,34	0,30	0,28	0,33	0,30	0,28	0,33	0,30	0,28	
		3	0,36	0,33	0,31	0,36	0,33	0,31	0,35	0,33	0,31	
		4	0,41	0,38	0,36	0,40	0,38	0,36	0,40	0,38	0,36	
		6	0,45	0,43	0,41	0,44	0,43	0,41	0,44	0,42	0,41	
		8	0,48	0,47	0,46	0,48	0,47	0,46	0,48	0,46	0,45	
		10	0,50	0,49	0,48	0,50	0,49	0,48	0,50	0,49	0,48	
Direct (cu grătar)	0 ↑ 55 ↓ 55	1	0,15	0,13	0,11	0,15	0,13	0,11	0,14	0,13	0,11	1,45/ 0,69
		1,2	0,17	0,15	0,13	0,17	0,15	0,13	0,16	0,15	0,13	
		1,5	0,19	0,17	0,16	0,19	0,17	0,16	0,19	0,17	0,16	
		2	0,23	0,21	0,19	0,23	0,21	0,19	0,22	0,21	0,19	
		2,5	0,25	0,24	0,22	0,25	0,24	0,22	0,25	0,24	0,22	
		3	0,27	0,26	0,24	0,27	0,25	0,24	0,27	0,25	0,24	
		4	0,30	0,29	0,28	0,30	0,29	0,27	0,30	0,28	0,27	
		6	0,32	0,31	0,31	0,32	0,32	0,31	0,32	0,31	0,31	
		8	0,35	0,34	0,34	0,35	0,34	0,34	0,35	0,34	0,34	
		10	0,45	0,42	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	
Semidirect	22 ↑ 70 ↓ 48	1	0,15	0,13	0,11	0,14	0,12	0,10	0,13	0,11	0,09	1,35/ 0,74
		1,2	0,18	0,15	0,13	0,16	0,14	0,12	0,15	0,13	0,11	
		1,5	0,21	0,19	0,16	0,19	0,17	0,15	0,18	0,16	0,14	
		2	0,26	0,23	0,21	0,24	0,21	0,20	0,22	0,20	0,18	
		2,5	0,29	0,26	0,24	0,27	0,25	0,23	0,24	0,23	0,21	
		3	0,31	0,29	0,27	0,29	0,27	0,25	0,26	0,25	0,23	
		4	0,34	0,33	0,31	0,32	0,31	0,29	0,30	0,28	0,27	
		6	0,38	0,37	0,35	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	
		8	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	
		10	0,45	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,36	
Semidirect (cu grătar)	24 ↑ 60 ↓ 36	1	0,13	0,11	0,10	0,12	0,10	0,09	0,11	0,10	0,09	1,4/ 0,715
		1,2	0,15	0,13	0,12	0,14	0,12	0,11	0,12	0,11	0,10	
		1,5	0,18	0,16	0,14	0,16	0,14	0,13	0,14	0,13	0,12	
		2	0,21	0,19	0,17	0,19	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	
		2,5	0,23	0,22	0,20	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17	
		3	0,25	0,24	0,22	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	
		4	0,28	0,27	0,25	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	
		6	0,30	0,30	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,24	
		8	0,32	0,32	0,31	0,30	0,29	0,29	0,27	0,26	0,26	
		10	0,34	0,33	0,33	0,31	0,30	0,30	0,28	0,28	0,27	

ANEXA 2 (continuare)

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
Mixt (lămpi libere montate pe tavan)	50 ↑ 100 ↓ 50	1	0,18	0,14	0,11	0,15	0,12	0,10	0,13	0,10	0,08	1,35/ 0,74
		1,2	0,21	0,17	0,14	0,18	0,15	0,12	0,16	0,13	0,10	
		1,5	0,25	0,21	0,18	0,22	0,18	0,15	0,19	0,16	0,11	
		2	0,30	0,26	0,23	0,26	0,23	0,20	0,22	0,20	0,17	
		2,5	0,34	0,30	0,26	0,29	0,26	0,23	0,25	0,22	0,20	
		3	0,36	0,33	0,29	0,32	0,28	0,26	0,27	0,24	0,22	
		4	0,41	0,37	0,34	0,36	0,33	0,30	0,31	0,28	0,27	
		6	0,45	0,42	0,39	0,40	0,37	0,36	0,34	0,32	0,30	
		8	0,49	0,46	0,44	0,45	0,41	0,39	0,37	0,36	0,34	
		10	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,37	
Mixt	41 ↑ 80 ↓ 39	1	0,16	0,13	0,11	0,14	0,12	0,10	0,12	0,10	0,09	1,35/ 0,74
		1,2	0,19	0,16	0,14	0,16	0,15	0,13	0,14	0,12	0,11	
		1,5	0,22	0,19	0,17	0,19	0,17	0,15	0,17	0,15	0,13	
		2	0,27	0,24	0,21	0,24	0,21	0,19	0,20	0,18	0,17	
		2,5	0,30	0,27	0,25	0,26	0,24	0,23	0,23	0,21	0,19	
		3	0,32	0,30	0,28	0,29	0,27	0,25	0,25	0,23	0,21	
		4	0,36	0,34	0,33	0,32	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	
		6	0,39	0,38	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28	
		8	0,42	0,41	0,40	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	
		10	0,44	0,43	0,42	0,39	0,38	0,37	0,34	0,33	0,33	
Mixt (cu grătar montat pe plafon)	40 ↑ 75 ↓ 35	1	0,15	0,13	0,11	0,13	0,12	0,10	0,12	0,10	0,09	1,5/ 0,667
		1,2	0,17	0,15	0,14	0,15	0,13	0,12	0,13	0,12	0,11	
		1,5	0,20	0,18	0,17	0,18	0,16	0,15	0,16	0,14	0,13	
		2	0,24	0,22	0,20	0,21	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	
		2,5	0,27	0,25	0,23	0,24	0,22	0,20	0,20	0,19	0,18	
		3	0,29	0,27	0,25	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	
		4	0,32	0,31	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23	0,23	
		6	0,35	0,34	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26	0,26	
		8	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,32	0,29	0,28	0,28	
		10	0,38	0,38	0,37	0,34	0,34	0,33	0,30	0,39	0,39	
Semidirect (cu grătar)	50 ↑ 75 ↓ 25	1	0,14	0,12	0,10	0,12	0,10	0,09	0,10	0,09	0,08	1,6/ 0,667
		1,2	0,16	0,14	0,12	0,14	0,12	0,11	0,12	0,10	0,09	
		1,5	0,19	0,17	0,15	0,16	0,15	0,13	0,14	0,12	0,11	
		2	0,23	0,21	0,19	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15	0,14	
		2,5	0,26	0,24	0,22	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	
		3	0,28	0,26	0,24	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	
		4	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,21	0,20	0,20	
		6	0,34	0,32	0,31	0,28	0,28	0,27	0,23	0,23	0,22	
		8	0,36	0,35	0,34	0,30	0,30	0,29	0,25	0,25	0,24	
		10	0,37	0,36	0,36	0,32	0,31	0,30	0,26	0,26	0,25	
Indirect (scale cu tuburi fluorescente)	70 ↑ 70 ↓ 0	1	0,12	0,10	0,08	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	1,5/ 0,667
		1,2	0,14	0,11	0,09	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	
		1,5	0,17	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	
		2	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,07	0,06	0,06	
		2,5	0,21	0,20	0,17	0,14	0,13	0,12	0,08	0,07	0,07	
		3	0,23	0,21	0,18	0,15	0,14	0,14	0,08	0,08	0,07	
		4	0,25	0,23	0,21	0,17	0,15	0,15	0,09	0,09	0,08	
		6	0,27	0,25	0,23	0,18	0,17	0,16	0,10	0,09	0,09	
		8	0,29	0,27	0,25	0,19	0,18	0,17	0,11	0,10	0,10	
		10	0,31	0,28	0,27	0,20	0,19	0,18	0,11	0,11	0,10	

A. INDICI DE ORBIRE DE BAZĂ PENTRU

1		2											
În sus În jos		Raporturile fluxului luminos al											
		0 % 100 %					25 % 75 %						
Plafon Pereți Pardoseală		Factorii de reflexie ai suprafețelor											
		70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14
Dimens. încăperii		Indicii de orbire											
A	B												
2H	2H	17,0	19,3	17,5	19,5	20,0	14,6	16,3	15,5	17,2	18,3	11,9	13,3
	3H	18,6	20,8	19,0	21,1	21,5	16,1	17,8	17,0	18,7	19,8	13,3	14,7
	4H	19,1	21,1	19,6	21,4	21,8	16,5	18,0	17,5	18,9	20,0	13,7	14,8
	6H	19,3	21,1	19,8	21,4	21,8	16,6	18,0	17,6	18,9	20,0	13,8	14,8
	8H	19,3	21,2	19,8	21,6	21,9	16,7	18,0	17,7	19,0	20,0	13,9	14,8
	12H	19,4	21,2	20,0	21,6	21,9	16,8	18,0	17,8	19,0	20,0	13,9	14,8
4H	2H	17,8	19,8	18,3	20,1	20,5	15,2	16,7	16,2	17,6	18,7	12,4	13,6
	3H	19,6	21,3	20,1	21,7	22,0	16,9	18,1	17,9	19,1	20,2	14,0	14,9
	4H	20,4	21,9	20,9	22,4	22,9	17,7	18,6	18,7	19,7	20,9	14,7	15,5
	6H	20,7	22,1	21,2	22,6	23,1	17,8	18,7	18,7	19,8	21,0	14,9	15,5
	8H	20,8	22,1	21,3	22,6	23,1	17,9	18,7	18,9	19,9	21,0	15,0	15,6
	12H	20,8	22,1	21,4	22,6	23,2	18,0	18,7	19,0	19,9	21,1	15,0	15,6
8H	4H	20,7	21,9	21,2	22,4	22,9	17,8	18,6	18,8	19,8	20,9	14,9	15,5
	6H	21,2	22,1	21,7	22,7	23,3	18,2	18,9	19,3	19,8	21,3	15,2	15,7
	8H	21,3	22,2	22,0	22,8	23,4	18,3	19,0	19,4	20,1	21,4	15,3	15,8
	12H	21,4	22,2	22,1	22,8	23,5	18,4	19,0	19,5	20,2	21,4	15,3	15,8
12H	4H	20,7	21,9	21,3	22,4	22,9	17,8	18,6	18,8	19,8	21,0	14,9	15,5
	6H	21,2	22,1	21,9	22,7	23,3	18,2	18,9	19,3	20,0	21,3	15,2	15,7
	8H	21,3	22,2	22,0	22,8	23,4	18,3	19,0	19,4	20,2	21,5	15,3	15,8
	12H	21,4	22,2	22,1	22,8	23,5	18,4	19,0	19,5	20,2	21,6	15,3	15,8

ANEXA 3

CORPUL DE ILUMINAT DE CLASIFICARE PZ 3

								3				4				
corpului de iluminat								Termeni de transformare pentru corpuri de iluminat liniare, văzute				Termeni de transformare pentru încăperi care au coeficientul de reflexie al pardoselii de 30 %				
50 % 50 %		75 % 25 %										Raporturile fluxului luminos al corpului de iluminat				
din încăperi [%]												In sus 0% 25 % 50 % 75 % In jos 100 % 75 % 50 % 25 %				
50	50	30	70	70	50	50	30									
50	30	30	50	30	50	30	30									
14	14	14	14	14	14	14	14									
de bază								paralel cu linia de vedere		perpendi- cular pe linia de vedere						
13,2	14,5	16,1	8,2	9,3	9,6	10,7	12,7	+	1,0	+	2,5		1,7	1,2	0,9	0,7
14,5	15,9	17,5	9,6	10,6	11,0	12,0	14,0	+	1,5	+	1,1		1,8	1,4	1,0	0,7
15,0	16,0	17,7	9,9	10,8	11,4	12,2	14,2	+	2,0	+	0,6		1,9	1,4	1,0	0,7
15,0	16,1	17,7	10,0	10,8	11,5	12,3	14,3	+	2,8	-	0,2		2,1	1,5	1,1	0,8
15,1	16,1	17,7	10,0	10,8	11,5	12,3	14,3	+	3,2	-	0,4		2,2	1,6	1,1	0,8
15,1	16,1	17,7	10,0	10,8	11,5	12,3	14,3	+	3,7	-	0,5		2,3	1,6	1,1	0,8
13,7	14,8	16,5	8,6	9,6	10,1	11,0	13,0	+	0,8	+	2,5		1,9	1,4	1,0	0,8
15,2	16,2	17,8	10,1	10,9	11,6	12,5	14,5	+	1,3	+	1,1		2,2	1,7	1,1	0,8
16,0	16,9	18,5	10,8	11,3	12,2	12,9	14,8	+	1,6	+	0,6		2,6	1,7	1,2	0,9
16,1	17,0	18,6	10,9	11,4	12,3	13,0	14,9	+	2,2	+	0,1		2,8	1,9	1,3	1,0
16,3	17,0	18,6	11,1	11,4	12,4	13,0	14,9	+	2,6	-	0,2		2,8	2,0	1,4	1,0
16,3	17,0	18,6	11,0	11,4	12,4	13,0	14,9	+	2,8	-	0,4		2,9	2,1	1,5	1,1
16,2	16,9	18,5	10,9	11,3	12,3	12,9	14,8	+	1,7		0		2,8	2,0	1,4	1,0
16,5	17,0	18,8	11,2	11,6	12,7	13,2	15,2	+	2,4	-	0,5		2,9	2,1	1,5	1,1
16,6	17,3	18,9	11,4	11,7	12,9	13,4	15,3	+	2,9	-	0,7		3,1	2,2	1,6	1,1
16,6	17,3	18,9	11,4	11,7	12,9	13,5	15,3	+	3,3	-	1,0		3,2	2,2	1,7	1,2
16,2	17,0	18,5	10,9	11,3	12,3	12,9	14,8	+	1,6		0		2,9	2,1	1,5	1,1
16,6	17,2	18,8	11,3	11,6	12,8	13,3	15,2	+	2,3	-	0,5		3,1	2,2	1,5	1,1
16,6	17,3	18,9	11,4	11,7	12,9	13,4	15,3	+	2,7	-	0,7		3,2	2,2	1,7	1,2
16,6	17,3	19,0	11,4	11,7	12,9	13,5	15,3	+	3,2	-	1,0		3,3	2,3	1,8	1,2

B. INDICI DE ORBIRE DE BAZĂ PENTRU CORPUL

1		2											
În sus În jos		Raporturile fluxului luminos al											
		0 % 100 %					25 % 75 %						
Plafon Pereți Pardoseală		Factorii de reflexie ai suprafețelor											
		70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14
Dimens. A	Încăperii B	Indicii de orbire											
2H	2H	17,3	19,8	17,7	20,1	20,5	15,0	16,8	15,8	17,7	18,8	12,4	13,9
	3H	19,4	21,8	19,8	22,1	22,5	17,0	18,8	17,9	19,7	20,8	14,3	15,8
	4H	20,2	22,4	20,7	22,6	23,1	17,8	19,3	18,7	20,2	21,3	15,1	16,3
	6H	20,4	22,6	21,0	22,9	23,3	18,0	19,6	19,0	20,5	21,6	15,4	16,5
	8H	20,7	22,7	21,2	23,1	23,5	18,3	19,5	19,2	20,6	21,7	15,6	16,5
	12H	20,9	22,8	21,5	23,2	23,6	18,4	19,6	19,4	20,6	21,8	15,6	16,6
4H	2H	18,2	20,4	18,8	20,7	21,1	15,8	17,4	16,7	18,2	19,4	13,1	14,3
	3H	20,7	22,5	21,2	22,9	23,3	18,2	19,4	19,2	20,4	21,5	15,3	16,4
	4H	22,0	23,6	22,6	24,0	24,5	19,2	20,3	20,2	21,4	22,6	16,4	17,2
	6H	22,1	23,8	22,7	24,2	24,7	19,5	20,5	20,4	21,6	22,8	16,7	17,3
	8H	22,4	23,9	22,9	24,3	25,0	19,7	20,6	20,7	21,7	22,9	17,0	17,5
	12H	22,7	24,0	23,2	24,4	25,1	20,0	20,7	21,0	21,8	23,0	17,0	17,5
8H	4H	22,2	23,6	22,7	24,1	24,7	19,4	20,3	20,4	21,4	22,7	16,7	17,3
	6H	22,9	24,3	23,6	24,7	25,4	20,2	21,0	21,3	22,0	23,3	17,2	17,8
	8H	23,3	24,4	23,9	25,0	25,8	20,6	21,1	21,7	22,3	23,7	17,5	18,1
	12H	23,5	24,6	24,2	25,2	26,0	20,7	21,4	21,7	22,6	23,9	17,5	18,1
12H	4H	22,5	23,7	23,0	24,2	24,8	19,7	20,4	20,7	21,5	22,7	16,7	17,2
	6H	23,1	24,4	23,8	25,0	25,8	20,5	21,2	21,6	22,4	23,7	17,4	18,1
	8H	23,5	24,6	24,2	25,2	26,0	20,7	21,4	21,8	22,6	23,9	17,6	18,2
	12H	23,7	24,6	24,5	25,2	26,0	20,8	21,4	21,8	22,6	24,1	17,6	18,2

ANEXA 3 (continuare)

DE ILUMINAT DE CLASIFICARE BZ 4

DE ILUMINAT PENTRU CLASIFICAREA DE

								3				4				
corpului de iluminat								Termeni de transformare pentru corpuri de iluminat liniare, văzute				Termeni de transformare pentru încăperi care au coeficientul de reflexie al pardoselii de 30 %				
50 % 50 %				75 % 25 %								Raporturile fluxului luminos al corpului de iluminat				
din încăperi (%)												În sus	0%	25 %	50 %	75 %
50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	paralel cu linia de vedere	perpendi- cular pe linia de vedere			În jos	100 %	75 %	50 %	25 %
de bază																
13,6	15,1	16,6	8,7	10,0	10,1	11,4	13,3	+	0,5	+	0,6		1,6	1,1	0,8	0,6
15,5	17,0	18,5	10,6	11,8	12,0	13,3	15,2	+	0,6	+	0,1		1,6	1,3	0,9	0,7
16,3	17,5	19,1	11,3	12,3	12,7	13,7	15,7	+	0,9	-	0,2		1,7	1,3	0,9	0,7
16,7	17,8	19,4	11,7	12,5	13,0	14,0	15,1	+	1,3	-	0,5		1,9	1,4	1,0	0,7
16,9	17,8	19,5	11,8	12,5	13,2	14,1	16,1	+	1,5	-	0,6		2,0	1,5	1,0	0,7
16,9	18,0	19,6	11,8	12,5	13,2	14,1	16,1	+	1,7	-	0,7		2,1	1,5	1,1	0,8
14,4	15,6	17,2	9,3	10,3	10,8	11,8	13,8	+	0,5	+	0,6		1,7	1,3	0,9	0,7
16,6	17,7	19,4	11,5	12,3	13,0	13,8	15,9	+	0,7	+	0,1		2,1	1,5	1,0	0,8
17,7	18,7	20,3	12,5	12,9	13,8	14,5	16,6	+	0,9	-	0,1		2,4	1,7	1,2	0,9
18,0	18,8	20,4	12,9	13,3	14,3	14,9	16,9	+	1,3	-	0,4		2,7	1,8	1,2	1,0
18,2	18,9	20,5	13,1	13,4	14,5	15,0	17,0	+	1,4	-	0,6		2,7	1,9	1,3	1,0
18,2	18,9	20,5	13,1	13,5	14,5	15,1	17,0	+	1,7	-	0,7		2,8	2,0	1,4	1,0
18,0	18,7	20,3	12,8	13,2	14,3	14,8	16,7	+	0,8	-	0,1		2,7	1,9	1,3	1,0
18,5	19,1	20,9	13,4	13,8	14,8	15,4	17,4	+	1,2	-	0,5		2,8	2,0	1,4	1,0
18,8	19,6	21,3	13,6	14,0	15,1	15,7	17,6	+	1,4	-	0,7		3,0	2,1	1,6	1,1
18,9	19,6	21,3	13,6	14,0	15,1	15,7	17,6	+	1,6	-	0,8		3,1	2,1	1,6	1,2
18,0	18,7	20,3	12,8	13,2	14,3	14,9	16,7	+	0,8	-	0,1		2,8	2,0	1,4	1,0
18,7	19,6	21,2	13,5	13,8	14,9	15,5	17,5	+	1,1	-	0,5		3,0	2,1	1,8	1,1
18,9	19,7	21,3	13,7	14,0	15,1	15,7	17,6	+	1,3	-	0,8		3,1	2,1	1,6	1,2
18,9	19,7	21,5	13,7	14,0	15,1	15,7	17,6	+	1,5	-	0,8		3,2	2,2	1,7	1,2

C. INDICI DE ORBIRE DE BAZĂ PENTRU CORPUL

1		2												
În sus În jos		Raporturile fluxului luminos al												
		0 % 100 %					25 % 75 %							
Plafon Pereți Pardoscală		Factorii de reflexie ai suprafețelor												
		70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	
Dimens. încăperii		Indicii de orbire												
A B														
2H	2H	18,0	20,4	18,4	20,9	21,3	15,7	17,7	16,6	18,6	19,7	13,2	14,8	
	3H	20,7	23,0	21,1	23,3	23,7	18,4	20,2	19,2	21,0	22,1	15,7	17,1	
	4H	21,9	24,1	22,4	24,5	24,8	19,5	21,1	20,5	22,0	23,1	16,9	18,1	
	6H	22,9	25,1	23,4	25,4	25,8	20,5	22,1	21,4	23,0	24,1	17,7	18,9	
	8H	23,2	25,3	23,8	25,8	26,2	20,9	22,3	21,8	23,3	24,4	18,2	19,3	
	12H	23,9	25,9	24,5	26,4	26,7	21,6	22,8	22,5	23,9	25,0	18,6	19,7	
4H	2H	19,2	21,5	19,7	21,8	22,2	16,9	18,4	17,8	19,3	20,4	14,2	15,4	
	3H	22,2	24,2	22,7	24,6	25,0	19,8	21,1	21,8	22,2	23,3	16,9	18,0	
	4H	23,8	25,6	24,3	26,0	26,5	21,2	22,3	22,2	23,4	24,6	18,5	19,3	
	6H	24,7	26,5	25,3	26,9	27,5	22,1	23,3	23,1	24,3	25,5	19,3	20,0	
	8H	25,5	26,9	26,0	27,4	28,0	22,8	23,7	23,7	24,8	26,0	19,9	20,7	
	12H	26,0	27,5	26,5	27,9	28,5	23,3	24,2	24,3	25,3	26,5	20,5	21,1	
8H	4H	24,4	25,9	24,9	26,9	26,9	21,7	22,6	22,7	23,7	24,9	18,9	19,6	
	6H	26,1	27,3	26,7	27,8	28,5	23,4	24,1	24,4	25,1	26,5	20,4	20,9	
	8H	26,8	28,0	27,5	28,6	29,2	24,0	24,8	25,1	26,0	27,2	21,0	21,6	
	12H	27,8	28,5	28,0	29,1	29,7	24,6	25,3	25,6	26,5	27,7	21,7	22,2	
12H	4H	24,6	26,1	25,1	26,5	27,1	21,9	22,8	22,9	23,9	25,1	19,1	19,7	
	6H	26,3	27,5	27,0	28,1	28,7	23,7	24,3	24,7	25,5	26,7	20,6	21,1	
	8H	27,0	28,2	27,7	28,7	29,4	24,2	25,0	25,3	26,2	27,4	21,3	21,9	
	12H	27,5	28,8	28,3	29,4	30,0	24,8	25,6	26,0	26,6	28,0	22,0	22,6	

ANEXA 3 (continuare)

DE ILUMINAT DE CLASIFICARE BZ 5

								3	4					
corpului de iluminat								Termeni de transformare pentru corpuri de iluminat liniare, văzute	Termeni de transformare pentru încăperi care au coeficientul de reflexie al pardoselii de 30 %					
50 % 50 %		75 % 25 %							Raporturile fluxului luminos al corpului de iluminat					
din încăperi (%)									In sus 0 % In jos 100 %					
50 14	50 14	30 14	70 14	70 14	50 14	50 14	30 14		30 14	25 % 75 %	50 % 50 %	75 % 25 %		
de bază								paralel cu linia de vedere	perpendicu- lar pe linia de vedere					
14,4	16,0	17,7	9,6	10,8	11,0	12,2	14,2			1,4	1,0	0,7	0,6	
16,8	18,3	20,1	12,0	13,3	13,4	14,7	16,6			1,5	1,2	0,9	0,6	
18,1	19,3	20,9	13,1	14,1	14,5	15,6	17,5			1,6	1,2	0,9	0,6	
18,9	20,2	21,8	14,1	15,0	15,5	16,5	18,5			1,7	1,3	0,9	0,7	
19,5	20,6	22,2	14,4	15,4	15,9	16,9	18,8			1,8	1,4	1,0	0,7	
19,8	21,0	22,7	14,9	15,7	16,3	17,2	19,2			1,9	1,4	1,0	0,7	
15,4	16,6	18,3	10,4	11,4	11,9	12,9	14,9			1,6	1,2	0,9	0,7	
18,1	19,3	21,0	13,1	13,9	14,6	15,5	17,5			1,9	1,4	1,0	0,7	
19,8	20,6	22,3	14,4	15,0	15,9	16,7	18,5			2,2	1,6	1,1	0,9	
20,5	21,5	23,2	15,4	16,0	16,9	17,6	19,5			2,6	1,7	1,2	0,9	
21,2	22,1	23,7	16,0	16,5	17,5	18,1	19,9			2,6	1,8	1,3	0,9	
21,7	22,5	24,1	16,6	17,0	18,1	18,7	20,5			2,6	1,9	1,4	1,0	
20,1	21,0	22,6	14,8	15,5	16,3	17,1	18,9			2,6	1,8	1,3	1,0	
21,7	22,2	23,9	16,4	16,8	17,8	18,5	20,4			2,7	1,9	1,4	1,0	
22,4	23,0	24,6	17,1	17,5	18,6	19,2	21,1			2,8	2,0	1,5	1,1	
23,0	23,7	25,3	17,7	18,0	19,2	19,7	21,6			3,0	2,0	1,6	1,1	
20,3	21,1	22,7	15,2	15,7	16,6	17,3	19,1			2,6	1,9	1,4	1,0	
21,9	22,7	24,2	16,7	17,1	18,2	18,8	20,6			2,8	2,0	1,5	1,1	
22,7	23,4	25,0	17,4	17,7	18,8	19,4	21,3			3,0	2,0	1,6	1,1	
23,4	23,9	26,7	18,1	18,3	19,5	19,9	22,0			3,1	2,1	1,7	1,1	

D. INDICI DE ORBIRE DE BAZĂ PENTRU CORPUL

1		2											
În sus În jos		Raporturile fluxului luminos al											
		0 % 100 %					25 % 75 %						
Plafon Pereți Pardoseală		Factorii de reflexie ai suprafețelor											
		70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14
Dimens. încăperii A B		Indicii de orbire											
2H	2H	16,5	19,2	16,9	19,5	20,0	14,3	16,4	15,2	17,3	18,4	12,0	13,6
	3H	19,5	22,0	19,9	22,3	22,7	17,3	19,2	18,2	20,1	21,2	14,8	16,3
	4H	20,9	23,4	21,4	23,7	24,0	18,7	20,5	19,6	21,3	22,4	16,2	17,5
	6H	22,3	24,7	22,8	25,0	25,4	20,1	21,8	21,0	22,7	23,8	17,4	18,7
	8H	23,2	25,3	23,7	25,8	26,2	20,9	22,3	21,8	23,3	24,5	18,3	19,4
	12H	24,0	26,2	24,5	26,7	27,1	21,7	23,2	22,6	24,3	25,4	19,1	20,1
4H	2H	17,7	20,2	18,2	20,5	20,8	15,5	17,3	16,4	18,1	19,2	13,0	14,3
	3H	21,1	23,3	21,6	23,8	24,2	18,8	20,3	19,7	21,4	22,5	16,2	17,2
	4H	23,2	25,0	23,5	25,4	25,9	20,6	21,8	21,5	22,9	24,0	18,0	18,9
	6H	24,3	26,3	24,8	26,7	27,2	21,9	23,2	22,9	24,3	25,4	19,2	20,0
	8H	25,4	27,2	25,9	27,7	28,2	22,9	24,0	23,8	25,1	26,3	20,2	20,9
	12H	26,3	28,0	26,8	28,5	29,0	23,8	24,8	24,6	25,9	27,1	21,0	21,7
8H	4H	23,8	25,6	24,3	26,1	26,6	21,3	22,4	22,2	23,5	24,7	18,6	19,3
	6H	25,8	27,4	26,4	27,9	28,5	23,2	24,3	24,2	25,3	26,6	20,5	21,2
	8H	26,8	28,4	27,5	29,0	29,7	24,3	25,3	25,3	26,4	27,7	21,5	22,2
	12H	27,9	29,3	28,5	29,9	30,6	25,3	26,2	26,3	27,4	28,6	22,5	23,1
12H	4H	24,1	25,7	24,5	26,2	26,8	21,6	22,6	22,4	23,7	24,8	18,7	19,5
	6H	26,2	27,7	26,8	28,3	29,0	23,6	24,6	24,6	25,8	27,0	20,8	21,5
	8H	27,3	28,7	27,9	29,3	30,0	24,7	25,6	25,7	26,8	28,0	21,9	22,5
	12H	28,6	29,9	29,6	30,5	31,2	26,0	26,8	27,0	27,8	29,2	23,1	23,6

DE ILUMINAT DE CLASIFICARE BZ 6

ANEXA 3 (continuare)

								3				4							
corpului de iluminat								Termeni de transformare pentru corpuri de iluminat liniare, văzute				Termeni de transformare pentru încăperi care au coeficientul de reflexie al pardoseli de 30 %							
50 % 50 %				75 % 25 %								Raporturile fluxului luminos al corpului de iluminat							
din încăperi (%)												In sus				In jos			
50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 30 14	70 30 14	50 60 14	50 30 14	30 30 14					100 %	75 %	50 %	25 %	50 %	75 %	25 %	
de bază								paralel cu linia de vedere		perpendi- cular pe linia de vedere									
13,2	14,7	16,3	8,4	9,7	9,8	11,2	13,0	—	0,6	+	0,4	1,2	0,8	0,7	0,6				
16,0	17,5	19,1	11,2	12,4	12,6	13,8	15,8	—	0,8	+	0,7	1,3	1,1	0,8	0,6				
17,4	18,7	20,3	12,5	13,6	14,0	15,0	17,0	—	1,0	+	1,0	1,4	1,1	0,8	0,6				
18,6	20,0	21,6	13,8	14,8	15,2	16,3	18,2	—	1,2	+	1,5	1,5	1,2	0,8	0,6				
19,6	20,7	23,4	14,6	15,4	16,0	17,0	19,0	—	1,3	+	1,8	1,6	1,2	0,9	0,7				
20,3	21,5	23,1	15,3	16,1	16,7	17,7	19,6	—	1,5	+	2,0	1,7	1,3	0,9	0,7				
14,2	15,5	17,1	9,3	10,4	10,8	11,8	13,8	—	0,5	+	0,3	1,4	1,1	0,8	0,7				
17,4	18,6	20,2	12,4	13,2	13,8	14,8	16,7	—	0,7	+	0,6	1,7	1,3	0,9	0,7				
19,3	20,3	21,9	14,1	14,8	15,7	16,5	18,4	—	0,9	+	0,9	2,0	1,5	1,0	0,8				
20,4	21,4	23,0	15,4	16,0	16,8	17,6	19,6	—	1,2	+	1,3	2,4	1,6	1,1	0,9				
21,5	22,4	23,9	16,4	16,9	17,9	18,5	20,4	—	1,5	+	1,5	2,4	1,7	1,2	0,9				
22,2	23,2	24,7	17,2	17,7	18,7	19,4	21,2	—	1,7	+	1,9	2,4	1,8	1,3	0,9				
19,9	20,8	22,3	14,8	15,3	16,3	17,0	18,8	—	0,8	+	0,8	2,4	1,7	1,2	0,9				
21,7	22,5	24,2	16,7	17,1	18,1	18,6	20,8	—	1,0	+	1,1	2,5	1,8	1,3	1,0				
22,8	23,7	25,3	17,6	18,1	19,1	19,8	21,6	—	1,1	+	1,4	2,6	1,9	1,5	1,0				
23,8	24,6	26,2	18,7	19,1	20,2	20,8	22,6	—	1,3	+	1,7	2,8	2,0	1,6	1,1				
20,0	20,9	22,5	15,0	15,5	16,5	17,2	19,0	—	0,7	+	0,7	2,4	1,8	1,3	0,9				
22,1	23,0	24,6	17,0	17,5	18,4	19,1	21,0	—	0,9	+	1,1	2,6	1,9	1,5	1,0				
23,2	24,0	25,6	18,1	18,5	19,5	20,2	22,0	—	1,1	+	1,4	2,8	2,0	1,6	1,1				
24,3	24,9	26,7	19,3	19,6	20,7	21,1	23,2	—	1,2	+	1,7	2,9	2,1	1,7	1,1				

E. INDICI DE ORBIRE DE BAZĂ PENTRU CORPUL

1		2											
În sus În jos		Raporturile fluxului luminos al											
		0 % 100 %					25 % 75 %						
Plafon Pereți Pardoseală		Factorii de reflexie ai suprafețelor											
		70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14
Dimens. încăperii		Indicii de orbire											
A	B												
2H	2H	14,4	17,3	14,9	17,6	18,1	12,3	14,7	13,2	15,5	16,5	10,1	11,7
	3H	17,8	20,5	18,3	20,7	21,2	15,8	17,8	16,6	18,6	19,6	13,3	14,8
	4H	19,4	33,0	19,9	33,3	22,6	17,3	19,1	18,2	20,0	21,1	14,9	16,4
	6H	21,1	23,7	21,7	24,0	24,4	19,1	20,9	20,0	21,8	22,8	16,6	17,9
	8H	22,1	24,5	22,7	25,1	25,3	20,0	21,6	20,9	22,6	23,7	17,5	18,7
	12H	23,1	25,4	23,6	25,9	26,3	21,0	22,5	21,9	23,6	24,6	18,4	19,6
4H	2H	15,7	18,2	16,2	18,5	18,9	13,6	15,4	14,5	16,3	17,4	11,2	12,7
	3H	19,5	21,8	20,0	22,2	22,6	17,3	18,9	18,2	19,9	21,0	14,7	15,9
	4H	21,5	23,8	22,1	23,2	24,7	19,3	20,7	20,3	21,8	22,9	16,8	17,8
	6H	23,2	25,4	23,7	25,8	26,3	21,0	22,4	21,9	23,4	24,6	18,4	19,2
	8H	24,4	26,4	25,0	26,9	27,4	22,1	23,4	23,0	24,5	25,6	19,6	20,4
	12H	25,5	27,4	26,0	27,9	28,5	23,2	24,4	24,1	25,5	26,6	20,6	21,3
8H	4H	22,5	24,5	23,0	25,0	25,4	20,2	21,5	21,1	22,5	23,7	17,6	18,4
	6H	24,9	26,8	25,4	27,3	27,9	22,5	23,7	23,5	24,7	26,0	19,8	20,6
	8H	26,1	27,9	26,8	28,4	29,1	23,7	24,8	24,7	25,9	27,2	21,0	21,7
	12H	27,3	29,0	28,0	29,6	30,2	25,0	25,9	26,0	27,1	28,3	22,1	22,9
12H	4H	22,8	24,7	23,3	25,2	25,8	20,5	21,7	21,4	22,8	23,9	17,9	18,6
	6H	25,3	27,1	26,0	27,7	28,4	23,0	24,0	24,0	25,2	26,3	20,2	21,0
	8H	26,6	28,2	27,2	28,8	29,5	24,2	25,2	25,2	26,4	27,6	21,5	22,1
	12H	28,1	29,6	28,7	30,2	30,9	25,6	26,5	26,6	27,7	29,0	22,8	23,5

DE ILUMINAT DE CLASIFICARE BZ 8

ANEXA 3 (continuare)

								3				4				
corpului de iluminat								Termeni de transformare pentru corpuri de iluminat liniare, văzute				Termeni de transformare pentru încăperi care au coeficientul de reflexie al pardoselit de 30 %				
50 % 50 %				75 % 25 %								Raporturile fluxului luminos al corpului de iluminat				
din încăperi (%)												În sus În jos				
70 50 14	50 30 14	30 30 14	70 50 14	70 30 14	50 50 14	50 30 14	30 30 14					0% 100%	25% 75%	50% 50%	75% 25%	
de bază								paralel cu linia de vedere		perpendi- cular pe linia de vedere						
11,2	12,9	14,4	6,5	7,9	7,9	9,2	11,3	+	0,6	+	3,8	0,7	0,6	0,6	0,5	
14,5	16,0	17,5	9,8	11,0	11,2	12,5	14,4	-	0,1	+	4,6	0,9	0,8	0,6	0,5	
16,1	17,6	19,1	11,3	12,4	12,7	13,9	15,8	-	0,6	+	5,2	1,0	0,9	0,6	0,5	
17,8	19,1	20,6	12,8	13,9	14,2	15,3	17,3	-	1,3	+	6,1	1,1	0,9	0,7	0,5	
18,7	20,0	21,6	13,9	14,7	15,3	16,3	18,3	-	1,7	+	6,6	1,2	1,0	0,7	0,6	
19,6	20,9	22,5	14,8	15,6	16,2	17,2	19,2		2,1	+	7,4	1,3	1,1	0,8	0,6	
								-								
12,3	13,8	15,4	7,6	8,7	9,0	10,2	12,1	+	0,8	+	3,1	1,0	0,9	0,6	0,6	
9	17,2	18,9	11,2	12,0	12,6	13,5	15,5	+	0,4	+	3,9	1,3	1,1	0,8	0,6	
18,0	19,2	20,8	13,0	13,7	14,5	15,4	17,3		0,0	+	4,5	1,5	1,2	0,9	0,8	
19,7	20,7	22,3	14,6	15,4	16,1	16,9	18,8	-	0,6	+	5,3	1,9	1,4	1,0	0,9	
20,8	21,8	23,3	15,8	16,5	17,3	18,0	19,8	-	0,9	+	5,9	1,9	1,4	1,0	0,9	
21,8	22,7	24,2	16,8	17,3	18,3	18,9	20,7	-	1,3	+	6,6	2,0	1,5	1,1	0,9	
18,9	19,8	21,4	13,9	14,4	15,3	16,1	17,9	+	0,3	+	3,9	1,9	1,4	1,0	0,9	
21,0	22,9	23,7	16,0	16,6	17,4	18,2	20,2	-	0,1	+	4,6	2,1	1,6	1,2	0,9	
22,2	23,2	24,9	17,2	17,8	18,7	19,4	21,3	-	0,4	+	5,1	2,1	1,7	1,3	1,0	
23,4	24,3	25,9	18,4	18,9	19,9	20,5	22,4	-	0,7	+	5,9	2,3	1,8	1,5	1,1	
19,1	20,0	21,5	14,1	14,6	15,6	16,3	18,1	+	0,4	+	3,7	2,0	1,5	1,1	0,9	
21,5	22,5	24,0	16,4	17,0	17,9	18,7	20,5		0,0	+	4,4	2,1	1,7	1,3	1,0	
22,7	23,6	25,2	17,7	18,2	19,2	19,9	21,7	-	0,2	+	4,8	2,3	1,8	1,5	1,1	
24,0	24,8	26,7	19,1	19,5	20,5	21,0	23,1	-	0,4	+	5,5	2,4	1,9	1,6	1,1	

ANEXA 3 (continuare)

F. TERMENI DE CORECȚIE

Termeni de corecție pentru					
T_{Φ}		T_S		T_H	
Fluxul luminos Φ_e al corpului de iluminat, distribuit în emisfera inferioară, în lm		Suprafața luminoasă a corpului de iluminat în cm ²		Înălțimea de montaj H a corpului de iluminat deasupra nivelului ochilor, în m	
1	2	3	4	5	6
100	- 6,0	65	+ 8,0	0,92	- 1,3
150	- 4,9	97	+ 6,6	1,24	- 1,0
200	- 4,2	129	+ 5,6	1,83	- 0,6
300	- 3,1	193	+ 4,2	2,44	- 0,3
500	- 1,8	322	+ 2,4	3,05	0,0
700	- 0,9	450	+ 1,2	3,65	+ 0,3
1 000	0,0	645	0,0	4,50	+ 0,6
1 500	+ 1,1	955	- 1,4	6,10	+ 1,0
2 000	+ 1,8	1 290	- 2,4	7,60	+ 1,3
3 000	+ 2,9	1 930	- 3,8	9,15	+ 1,6
5 000	+ 4,2	3 220	- 5,6	12,40	+ 2,1
7 000	+ 5,1	4 500	- 6,8		
10 000	+ 6,0	6 450	- 8,0		
15 000	+ 7,1	9 650	- 9,4		
20 000	+ 7,8	12 900	- 10,4		
30 000	+ 8,9	19 300	- 11,8		
50 000	+ 10,2	32 200	- 13,6		

G. VALORILE TERMENULUI DE CORECȚIE T_c

Φ_A [%]	0					25					50				
Φ_V [%]	100					75					50				
Φ_A [%]/ Φ_V [%]	0					0,33					1				
δ_t [%]	70		50		30	70		50		30	70		50		30
δ_p [%]	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
T_c	5,2	7,1	5,8	7,6	8,1	2,7	4,0	3,6	5,0	6,1	0	1,1	1,2	2,4	4,0

ANEXA 3 (continuare)

H. CLASIFICAREA BZ PENTRU UNELE CORPURI DE ILUMINAT PRODUSE ÎN ROMÂNIA (ASIMILARE)

Nr. crt.	Felul lămpilor	Clasificarea
(0)	1	(2)
	<i>Lămpi cu incandescență</i>	
1	Corp de iluminat tip „Universal”: — pentru indici ai încăperii de la A la B*)	BZ 5
2	— idem, de la C la J	BZ 4
	Glob din sticlă opală	BZ 8
	<i>Lămpi cu fluorescență</i>	BZ 6
1	Corp de iluminat tip CGA	
2	Corp de iluminat tip CIA, închis la capete, fără grătar difuzant: — pentru indicii încăperii A	BZ 5
	— idem, de la B la J	BZ 4
3	Corp de iluminat CIB închis la capete, fără grătar difuzant: — pentru indicii încăperii A	BZ 5
	— idem, de la B la J	BZ 4
4	Corp de iluminat CIA deschis la capete, fără grătar difuzant: — pentru indicii încăperilor de la A la I	BZ 4
	— idem, pentru J	BZ 3
5	Corp de iluminat CIB deschis la capete, fără grătar difuzant: — pentru indicii încăperilor de la A la B	BZ 5
	— idem, de la C la J	BZ 4
6	Corp de iluminat CPB cu reflector	BZ 4
7	Corpuri de iluminat sau panouri luminoase cu grătare difuzante	BZ 3
8	Corpuri de iluminat cu ecrane din masă plastică sau sticlă opală	BZ 4
9	Panouri luminoase montate în plafon, de formă pătrată sau dreptunghiulară, cu ecran din masă plastică sau sticlă opală	BZ 5

*) Între literele de la A la J și indicele încăperii dat de relația:

$$i = \frac{AB}{H(A+B)},$$

în care A, B și H sînt dimensiunile încăperii, există următoarea corespondență:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	4	3,5	2,5	2	1,5	1,25	1	0,8	0,6

ANEXA 3 (continuare)

I. INDICI DE ORBIRE ADMISIBILI PENTRU
CONSTRUCȚII CIVILE

Felul construcției	Indici
Săli de clasă	16
Birouri	19
Laboratoare	19
Institute de cercetare ..	17
Săli de sport	28-30
Institute de proiectare ..	19
Galerii de artă	10

J. INDICI DE ORBIRE ADMISIBILI PENTRU CONSTRUCȚII INDUSTRIALE

Industria	Locul de muncă	Indici
1	2	3
Industria metalurgică și construcții de mașini	Oțelării, furnale, laminare	28
	Turnătorii :	
	— secțiile de preparare a nisipurilor, formare mie-	
	zuri, turnare, dezbatere	28
	— miezuri și formare fină, control	25
	Forjă	28
	Hale cu mașini unelte :	
	— lucru brut	28
	— lucrări de precizie medie	25
	— lucrări de precizie mare	22
	Hale de prelucrarea metalului (lucru la banc, trasaj, poansonare, presare, tăierea cu foarfeca, fălțuire)	25
	Hale de asamblare :	
	— asamblarea pieselor mari, mașinilor mari	28
	— asamblarea părților de mașini, motoarelor, cor- pului vehiculelor	25
	— asamblarea echipamentului de radio și telefoa- nelor, mașini de scris și de birou	22
	— asamblarea instrumentelor și mecanismelor de precizie	19
	— lucrări de ceasornicărie	10
	Ateliere de acoperire cu metal (băi), polizoare, șlefuire, lustruire	25
Industria textilă	Bumbac sau in :	
	— dezbatere, cardare, filare, răsucire, dublare	25
	— urzit, țesut, control	19
	Mătase sau fibre sintetice :	
	— preparare, filare, răsucire, bobinare, urzit ..	25
	— țesut, control	19
	Lână :	
	— preparare, cardare, filare, vopsire, uscare, urzit, pieptănare	25
	— țesut, separat, control	19
	Iută (toate procesele)	25

ANEXA 3 (continuare)

Industria	Locul de muncă	Indicii
1	2	3
Industria pielărie, încălțăminte	Procesele de fabricare a pielii	28
	Sortarea materialului pentru confecții	19
	Croît, presat, cusut, finisat	22
	Control	19
Industria confecțiilor	Sortarea materialului	19
	Croît, cusut, călcat	22
	Lucru de mână	19
Industria tricotaje	Tricotat, croît, asamblat, călcat	22
	Control, corectarea defectelor, finisarea manuală ..	19
Industria alimentară	Conserve :	
	— pregătirea produselor	22
	— preparare, îmbuteliere	25
	Morți	25
	Panificație	25
	Produse lactate	25
	Fabrici de bere și distilerii	25
	Fabrici de ciocolată și produse de cofetărie	25
	Decorarea manuală, control, ambalare	22
Centrale și stații electrice	Sala mașinilor, cazanelor și încăperile auxiliare	25
	Stații electrice interioare	25
	Camera de comandă	19
Industria sticlei	Malaxoare, cuptoare, modelare	28
	Finisare (taiat la dimensiuni, gravat, decorat)	22
	Cizelat, control	19
Industria chimică și farmaceutică	Cuptoare, cazane de fierbere, uscătorie, cristalizatoare, evaporatoare, instalații de filtrare, decolorare, extractoare, percolatoare, nitratoare, celule electrolitice ..	28
	Fabricarea produselor farmaceutice	25
	Control, măsurare, camere de control	19
	Fabricarea produselor din mase plastice și cauciuc ..	25
Tipografii	Toate operațiile	25
	Cules, corectură, control	19
Industria lemnului și mobilier	Lucrări de precizie mică	25
	Operațiile de fabricare a mobilei, tapiterie	22

ANEXA 4

A. COEFICIENȚI DE CERERE C_c ȘI FACTORI DE PUTERE $\cos \varphi$ PENTRU DIFERITE CATEGORII DE RECEPTORE

Receptorul	C_c	$\cos \varphi$	$\lg \varphi$
1. Motoare bine încărcate cu funcționare continuă ale ventilatoarelor, pompelor, compresoarelor, benzilor rulante, transportoarelor, convertizoarelor, mașinilor de sudare cu mai multe puncte de lucru, transmisiilor etc	0,75	0,8	0,75
2. Motoarele ventilatoarelor pentru condiționarea aerului și a aerotermelor	0,70	0,8	0,75
3. Motoarele mașinilor-unelte cu acționare individuală și regim de lucru normal (strunguri, mașini de găurit, freze, morfeze etc.)	0,20	0,60	1,35
4. Motoarele mașinilor-unelte cu acționare individuală și regim de lucru greu (prese de ștanțat cu excentric, strunguri automate, strunguri de cojit, freze pentru roți dințate etc.)	0,25	0,60	1,35
5. Motoarele mașinilor-unelte cu acționare individuală și regim de lucru foarte greu (tambure de curățit, mori cu bile, mașini de sfărmat, mașini de forjat și de trefilat cu arbore cotit, ciocane cu transmisie etc.)	0,45	0,65	1,17
6. Instalații de preparare a pământurilor și a nisipurilor	0,6— 0,8	0,8	0,75
7. Motoare electrice cu funcționare intermitentă (macarale, funiculare, transmisii auxiliare, câi cu role, mese de ridicat, foarfeci):			
— cu regim ușor	0,10	0,45	1,96
— cu regim greu	0,15	0,45	1,96
8. Aparat de încălzire, cuptoare cu rezistență, cuptoare de uscat, fierbătoare de clei, băi etc.	0,60	0,95	0,32
9. Transformatoare pentru sudare cu arc	0,37	0,35	2,65
10. Aparat de sudare cap la cap și prin puncte, încălzitoare pentru nituri, încălzitoare pentru bandaje etc.	0,42	0,70	1,02
11. Grupuri motor — generator pentru sudare cu un singur punct de lucru	0,51	0,65	1,17
12. Cuptoare de inducție:			
— de joasă frecvență	0,8	0,35	2,65
— de înaltă frecvență	0,8	0,1	9,6
13. Cuptoare cu arc pentru topirea oțelului	0,9	0,86	0,61

COEFICIENȚI DE CERERE C_c PENTRU INSTALAȚII DE ILUMINAT*)

Depozite	0,5
Cazărmi, creșe	0,6
Complexe spitalicești	0,65
Complexe învățământ	0,8
Complex administrative	0,8
Complex industriale	0,8
Complex comerciale	1,0
Reclame și firme luminoase	1,0
Iluminat siguranță	1,0
Iluminat exterior public	1,0

*) Pentru locuințe se va consulta STAS 234-70.

ANEXA 4 (continuare)

B. COEFICIENȚII FORMULEI BINOME

Grupul de receptoare	Nr. <i>x</i>	Coeficienții		$\cos \varphi$	$\lg \varphi$
		<i>a</i>	<i>b</i>		
1. Motoare electrice pentru comanda individuală a mașinilor-unelte de prefabricate a metalelor :					
— în secții de prelucrare la cald, în serii mari și pe bandă	5	0,5	0,26	0,65	1,17
— în secții de prelucrare la rece, în serii mari și pe bandă	5	0,5	0,14	0,5	1,73
— idem, în serii mici și individuale	5	0,4	0,14	0,5	1,73
2. Motoare electrice pentru ventilatoare (condiționare), pompe, compresoare, grupuri compresoare	5	0,25	0,65	0,8	0,75
(Pentru puteri peste 100 kW se va lua puterea cerută reală la $\cos \varphi$ real pentru fiecare motor în parte).					
3. Motoare electrice ale mecanismelor de transport continuu și de prelucrare a nisipurilor și a pământurilor în turnătorii :					
— fără interblocări	5	0,4	0,4	0,75	0,87
— cu interblocări	5	0,2	0,6	0,75	0,87
4. Poduri rulante și macarale :					
— în cazangerii, secții de reparații și de montaj, în ateliere mecanice și altele asemănătoare	3	0,2	0,06	0,5	1,75
— în turnătorii	3	0,3	0,09	0,5	1,75
— în oțelării Siemens-Martin	3	0,3	0,11	0,5	1,75
— la laminoare, mașini de treierat și recoltat	3	0,3	0,18	0,5	1,75
5. Ateliere termice :					
— cuptoare electrice cu rezistență cu încărcare automată (continuă)	2	0,3	0,7	0,95	0,32
— idem, cu încărcare neautomată (periodică)	1	0,5	0,5	0,95	0,32
— receptoare termice mici, în instalații de tip laborator (uscătoare, încălzitoare etc.)	0	0	0,7	1	0
6. Mașini de sudare :					
— prin puncte și prin cusătură	0	0	0,35	0,6	1,35
— cap la cap	0	0	0,35	0,7	1,25

ANEXA 4 (continuare)

Grupul de receptoare	Nr. x	Coeficienții		cos φ	tg φ
		a	b		
7. Transformatoare de sudare :					
— pentru sudare automată	0	0	0,5	0,5	1,75
— pentru sudare manuală cu arc cu un singur punct de lucru	0	0	0,35	0,4	2,25
— idem, cu mai multe puncte de lucru	0	0	0,7— 0,9	0,5	1,75
8. Grupuri convertizoare de sudare (motor-generator) :					
— cu un singur punct de lucru	0	0	0,35	0,6	1,75
— cu mai multe puncte de lucru	0	0	0,6 0,9	0,75	0,87
9. Acționări electrice în industria chimică cu flux tehnologic neîntrerupt (compresor, pompe, ventilatoare, amestecătoare și centrifuge)	3	0,5	0,5	0,86	0,61

Observații

1 — Pentru podurile rulante se pot aplica metode mai exacte de determinare a puterii cerute, dacă se dispune de curbele de încărcare ale fiecărui motor electric.

2 — Puterea P_n a grupurilor de receptoare pentru sudare se determină înmulțindu-se puterea nominală S_n în kVA, cu factorul de putere nominal, pentru care se pot adopta valorile :

- transformatoare de sudare0,5
- mașini de sudare prin puncte și prin cusătură ..0,7
- mașini de sudare cap la cap.....0,8

ANEXA 5

A. CHELTUIELI DE INVESTIȚII ȘI EXPLOATARE

Investiție totală [lei]		Cheltuieli anuale [lei]	
$I_t = I_{eft} + I_{conexet}$		$C_t = C_{eft} + C_{Et}$	
$I_{eft} = a Q_{ci}$ a = cost mediu [lei/kvar] Q_{ci} = puterea bateriei de condensatoare [kvar] <i>Obs.</i> Mai exact, cheltuielile de investiție se pot determina pe baza devizului	$I_{conexet} = I_{mt} + I_{CEt}$ I_{mt} = investițiile în deschideri de mine pentru combustibilul necesar producerii energiei active ce se consumă sub formă de pierderi [lei] I_{CEt} = investițiile în centrale electrice ale sistemului pentru acoperirea pierderilor de putere în sistem și în rețeaua consumatorului [lei]	C_{eft} = cheltuieli anuale efective în instalația de compensare: $C_{eft} = \beta I_{eft}$ β - coef. global de cheltuieli	C_{Et} = cheltuieli anuale suplimentare, corespunzătoare energiei active pierdute în sistem și în instalația consumatorului, datorită transportului de energie reactivă: $C_{Et} = \alpha \Delta W_{tot t}$ α - prețul de cost al energiei electrice produse în centralele sistemului [lei/kW]
	$I_{mt} = \delta \Delta W_{tot t}$ δ - investiție specif. în mine [lei/an·kWh]	$I_{CEt} = \gamma \Delta P_{tot t}$ γ - costul mediu de investiție al unui kW produs în centralele sistemului [lei/kW]	
	$\Delta W_{tot t}$ - în tabelul C.	$\Delta P_{tot t}$ - în tabelul B.	

ANEXA 5 (continuare)

B. PIERDERILE TOTALE DE PUTERE ΔP_{tot}

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{Rt} + \Delta P_{Ct} + \Delta P_{stet}$$

[kW]

ΔP_{Rt} (pierderile de putere activă în orele de vîrf în rețeaua consumatorului, de la bara sistemului* pînă la locul montării bateriei de condensatoare) [kW]		ΔP_{Ct} (pierdere de putere activă în sursa reactivă) [kW]	ΔP_{stet} (pierdere de putere activă în sistem datorită circulației de putere reactivă în orele de vîrf de consum) [kW]
$\Delta P_{Rt} = \Delta P_{Lt} + \Delta P_{tt}$		$\Delta P_{Ct} = p_c Q_{ct}$	$\Delta P_{stet} = \Delta P_s Q_{stet}$
ΔP_{Lt} (pierdere de putere activă în rețeaua consumatorului și în linii datorită circulației de putere reactivă)	ΔP_{tt} (pierdere de putere activă în transformator datorită circulației de putere reactivă)	p_c = pierdere specifică în sursa reactivă [kW/Mvar]; Q_{ct} = puterea surselor reactive instalate [Mvar]	ΔP_s = pierdere specifică la orele de vîrf de consum al sistemului [kW/Mvar] Q_{stet} = puterea reactivă care circulă în sistem [Mvar]
$\Delta P_{Lt} = R_L \frac{Q_L^2}{U^2} 10^3$ (kW)	$\Delta P_{tt} = R_t \frac{Q_t^2}{U^2} 10^3$ (kW)		
R_L — rezistența liniei [Ω]; Q_L — puterea reactivă absorbită ce circulă în sistem [kvar] U — tensiunea [kV]	R_t — rezistența transformatorului $\left(R_t = \Delta p_{eu} \frac{S_n^2}{U^2} \right)$ Q_t — puterea reactivă ce trece prin transformator [Mvar] U — tensiunea [kV]		

* prin „bara sistemului” se înțelege bara de la care se face alimentarea cu energie electrică a consumatorului (bara sursei).

ANEXA 5 (continuare)

C. PIERDERI TOTALE DE ENERGIE $W_{tot i}$

$$\Delta W_{tot i} = \Delta W_{Ri} + \Delta W_{ci} + \Delta W_{sist i}$$

ΔW_{Ri}	ΔW_{ci}	$\Delta W_{sist i}$
(pierdere de energie activă în rețea datorită circulației de energie reactivă) [kWh]	(pierdere de energie activă în sursa reactivă) [kWh]	(pierdere de energie activă în sistem datorită circulației de energie reactivă) [kWh]
$\Delta W_{Ri} = \tau \Delta P_{Ri}$, τ — timpul relativ de pierderi ce se determină în funcție de timpul de utilizare a puterii active T și $\cos \varphi$: $T = \frac{W_{an}}{P_{max}}$, unde: W_{an} este energia activă absorbită anual [kWh]; P_{max} — puterea maximă absorbită de consumator [kW]	$\Delta W_{ci} = T_c Q_{ci} p_c$, unde: p_c — pierderea specifică [kW/Mvar]; Q_{ci} — puterea surselor reactive instalate [M var]; T_c — timpul de utilizare a puterii reactive, ce se determină din curba de sarcină a consumatorului	$W_{sist} = K_s W_s Q_{sist}$, unde: K_s — coeficient în funcție de tensiune și regimul de funcționare al consumatorului; ΔW_s — pierdere specifică de energie activă datorită circulației de energie reactivă absorbită de consumator [kW/h (kvar·an)] Q_{sist} — vezi tabelul D. [kvar]

ANEXA 5 (continuare)

D. PUTEREA REACTIVĂ CARE CIRCULĂ ÎN SISTEM

$$Q_{\text{stst } t} = Q_{Lt} + Q_{ECt} *$$

$$Q_{Lt} = Q_t + \Delta Q_{Lt} + \frac{1}{2} \Delta Q_{Lt}$$

Q_t	ΔQ_{Lt}	ΔQ_{Lt}
(puterea reactivă necesară, absorbită de consumator, în kvar)	(putere reactivă consumată de transformatoare)	(putere reactivă consumată de linie)
	$\Delta Q_{Lt} = \frac{I_{ot} S_{nt}}{100} + \left(\frac{S_t}{S_{nt}} \right)^2 \frac{S_{nt} U_{kt}}{100} 10^3$ [kvar] unde: S_{nt} — puterea nominală aparentă a transformatorului [MVA]; S_t — puterea aparentă absorbită de consumator la ora de vîrf de consum [MVA]; U_{kt} — tensiunea de scurtcircuit [%]; I_{ot} — curentul de mers în gol [%]	$\Delta Q_{Lt} = x \frac{S_t^2}{U^2} 10^3$ [kvar] unde: x — reactanța liniei [Ω]; S_t — puterea aparentă în linie [MVA]; U — tensiunea nominală [kV]

* Q_{ECt} — puterea reactivă ce circulă în elementele comune în cazul în care rețeaua are mai multe ramuri care prezintă elemente comune.
 Pentru o rețea simplă $Q_{ECt} = 0$.

E. VALORILE MĂRIMILOR CARE INTERVIN ÎN CALCULUL TEHNICO-ECONOMIC PENTRU AMELIORAREA FACTORULUI DE PUTERE

	Mărimea	Unitatea de măsură	Valorile	Observații
a	Costul mediu specific al investiției în mijlocul de compensare	lei//kvar	225 200	la $U=0,4$ kV la $U=6$ kV
δ	Investiția specifică în mine	lei/(an.kWh)	0,42	—
v	Costul mediu de investiție al unui kW produs în centralele sistemului	lei/kW	2 700	—
α	Prețul de cost al energiei electrice produse în centralele sistemului	lei/kWh	0,20	—
β	Coeficient global de cheltuieli pentru mijlocul de compensare	—	0,11	—
ρ_c	Pierdere specifică	kW/kvar	$3,5 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-3}$	—

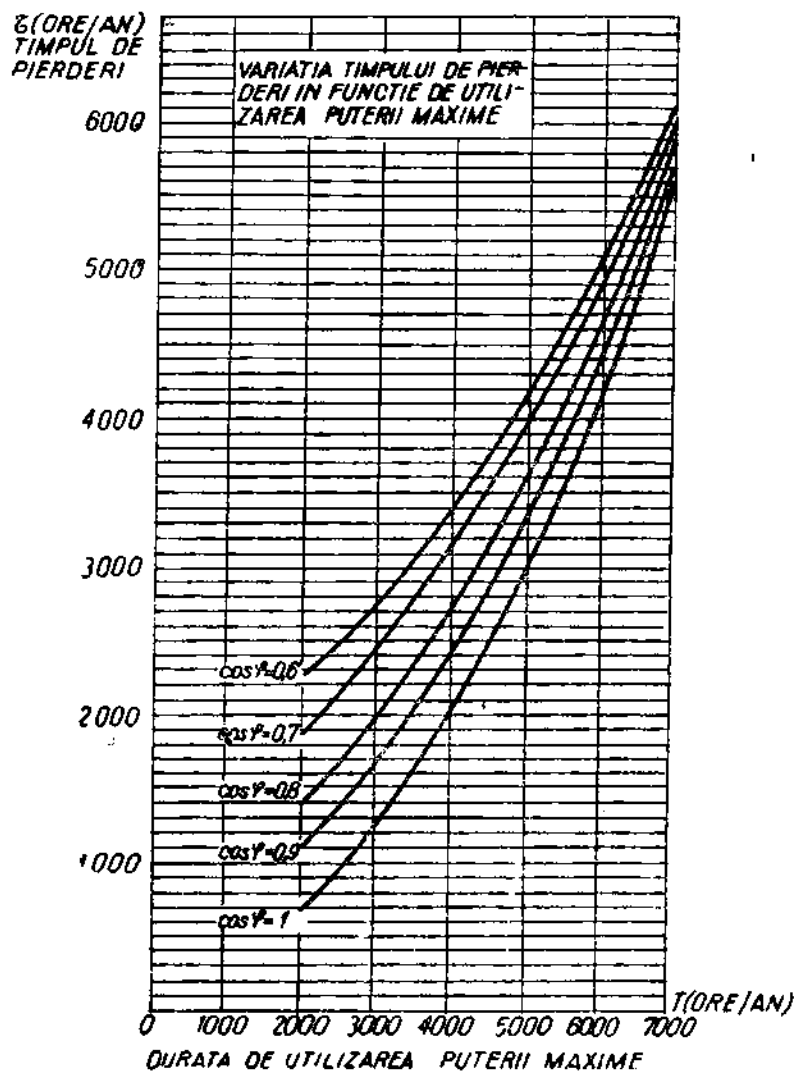


Fig. 5.C.1. Timpul de pierderi în funcție de durata de utilizare a puterii maxime

ANEXA 5 (continuare)

F. VALORILE PIERDERILOR SPECIFICE

 ΔP_s și ΔW_s

Tensiunea de alimentare a consumatorului [kV]	ΔP_s *) [kW/Mvar]	ΔW_s [kWh/(kvar-an)]
	Pierdere specifică la orele de vîrf de consum al sistemului	Puterea reactivă care circulă în sistem
110	25	100
25-60	30	115
6-20 (direct din 110 kV)	30	120
6-20 (dublă transfor- mare)	45	145
6-10 (centrale)	30	120
0,4	60	170

* Pentru consumatori a căror sarcină absorbită din sistem la vîrf de seară este mai mică sau egală cu 50 % din sarcina maximă la altă oră din zi, valorile lui ΔP_s indicate în tabel se amplifică cu 0,85.

G. VALORILE CARACTERISTICII DE SARCINĂ K (ȚINE SEAMA DE CARACTERUL CURBEI DE SARCINĂ)

Tensiunea de alimentare a consumatorului [kV]	K		
	1 schimb	2 schimburi	3 schimburi
110	0,96	1,00	1,02
25-60	0,98	1,01	1,02
60-200 (direct din 110 kV)	0,99	1,01	1,03
6-20 (dublă transformare)	1,00	1,02	1,06
6-10 (centrale)	1,00	1,01	1,03
0,4	1,00	1,10	1,15



BIBLIOGRAFIE

1. * * * *Lexiconul tehnic român*, vol. 1...14, Editura tehnică, București, 1957...1964
2. * * * *Manualul inginerului electrician*, vol. 5, 7, Editura tehnică, București, 1957, 1958
3. * * * *Hülfe, manualul inginerului*, vol. 1, traducere din limba germană, Editura AGIR, București, 1947
4. Friș, S. E. și Timoreva, A. V. *Curs de fizică generală*, vol. 1, 2, 3, traducere din limba rusă, Editura tehnică, București, 1965
5. Corodeanu, I. *Curs de instalații electrice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1964
6. Băilescu, A. și Savopol, D. *Iluminatul electric*, îndreptar, Editura tehnică, București, 1962
7. Băilescu, A. și Savopol, D. *Iluminatul electric*, îndreptar, ed. II, Editura tehnică, București, 1969
8. Riemann, E. și colab. *VEM - Handbuch Beleuchtungstechnik*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1967
9. Gheorghiu, N. și Militaru, P. *Teoria și practica iluminatului electric*, Editura tehnică, București, 1970
10. Chiriță, G. și Alexe, C. *Cartea instalatorului electrician*, Editura tehnică, București, 1970
11. Sufrim, M. *Protecția împotriva tensiunilor accidentale*, Editura tehnică, București, 1967
12. Nagel, M. *VEM - Handbuch der Installationstechnik für Starkstromanlagen*, VEB Verlag Technik, Berlin 1971
13. Popp, F. *Instalații de semnalizare*, Editura tehnică, București, 1960
14. Postelnicu, G. și Bărzescu, A. *Echipament electric pentru autovehicule*, Editura tehnică, București, 1972
15. Grigorescu, D. *Construcții radio. Prize de pământ*, Editura tehnică, București, 1969
16. Vasilescu, I. și Zamfir, G. *Antene colective*, Editura tehnică, București, 1963
17. Constantinescu, V. *Măsurarea rezistenței de izolație*, Editura tehnică, București, 1967
18. Sufrim, M. și colab. *Construcția și exploatarea instalațiilor de legare la pământ*, Editura tehnică, București, 1970
19. Gudumac, M. *Construcția și exploatarea instalațiilor electrice din unitățile sanitare*, Editura tehnică, București, 1967
20. Prodea, V. *Construcția și exploatarea instalațiilor electrice de iluminat din întreprinderile industriale*, Editura tehnică, București, 1967
21. Centea, O. *Curs de utilajele sudării electrice*, vol. 1, Editura didactică și pedagogică, București, 1963
22. Centea, O. și Micloși, V. *Mașini și aparate pentru sudarea electrică*, Editura tehnică, București, 1967
23. Gheorghiu, N. *Aparate și rețele electrice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1971
24. Babikov, M. A. *Aparate electrice*, vol. 1, 2, 3, traducere din limba rusă, Editura energetică de stat, Editura tehnică, București, 1953-1965

25. * * * *Technische Hinweise für die Anwendung von Leuchtstofflampen und Quecksilber-Hochdrucklampen*, VEB Berliner Glühlampen-Werk, 1964
26. Ulianov, S. A. *Regimuri tranzitorii ale sistemelor electrice*, traducere din limba rusă Editura tehnică, București, 1967
27. Hármory A. *Villanyszereles*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1966
28. Fedorov, A. A. și colab. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale*, traducere din limba rusă, Editura tehnică, București, 1965
29. Baptidanov, L., N., Tarasov, V., I. *Echipamentul electric al centralelor și stațiilor electrice* vol. 1, 2, 3, traducere din limba rusă, Editura tehnică, București, 1955—1956
30. Butkevici, I. V. și colab. *Partea electrică a centralelor și a stațiilor electrice*, traducere din limba rusă, Editura energetică de stat, București, 1953
31. Fedoseev, A. M. *Protecția prin relee a sistemelor electrice*, traducere din limba rusă, Editura energetică de stat, București, 1955
32. Rüdenberg, R. *Transient performance of electric power systems*, New York—Toronto—London, 1950
33. Pietrăreanu, E. *Agenda electricianului*, Editura tehnică, București, 1971
34. Nicolescu, E., Răduț, C. *Mașini electrice fabricate în R.P.R.*, Editura tehnică București, 1965
35. Aizenberg, B. L. și colab. *Rețele electrice urbane* — traducere din limba rusă, Editura tehnică, București, 1963
36. Bercovici, M. și Arie, A. *Rețele electrice. Calculul mecanic*, Editura tehnică, București, 1963
37. Boțan, N. V. și colab. *Rețele electrice. Calculul electric*, Editura tehnică, București, 1961
38. Mark, D. și Popa, B. *Protecția instalațiilor electrice împotriva supradensiunilor atmosferice*, Editura tehnică, București, 1967
39. Mathé, B. și Cazacu, V. *Protecția împotriva trăsnetului a construcțiilor civile și industriale*, Editura tehnică, București, 1969
40. Glückmann, M. și Popescu, P. *Instalații pentru încărcarea acumulatorilor*, Editura tehnică, București, 1968
41. Spînu, A. *Protecția instalațiilor electrice de joasă tensiune*, Editura tehnică, București, 1966
42. Brașovan, M. *Acționări electromecanice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1966
43. Văzduțeanu, V. *Utilizările energiei electrice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1968
44. Prisăcaru, V. și colab. *Utilizările energiei electrice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1969
45. Centea, O. *Contribuții privitoare la determinarea datelor nominale ale surselor pentru alimentarea mai multor posturi de sudare*, Buletinul științific al Institutului de construcții, București, Nr.17, 1966
46. Centea, O. și Mira, N. *Nomograme cu puncte aliniate pentru determinarea iluminării produse de suprafețe luminoase de formă dreptunghiulară*, Revista Energetica, București, Nr.12, 1972
47. Centea, O. și Mira, N. *Utilizarea nomogramelor pentru determinarea componentei directe a iluminării realizate, în plan orizontal și vertical, de surse de lumină punctiforme și linieforme*, A VI-a conferință de instalații, Sinaia, 1972
48. Bianchi, C. *Distribuția judicioasă a lumenanțelor în instalațiile de iluminat și utilizarea culorilor funcționale, condiție esențială în realizarea confortului vizual*, Conferința de instalații 1968, CDCAS
49. Bianchi, C. *Influența calității iluminatului asupra microclimatului luminos în sălile de proiectare, cercetare și învățământ*, Sesiunea științifică a Institutului de construcții, București, 1969
50. * * * *Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor electrice interioare cu tensiuni până la 1 000 V*, I 7—68, Bul. CSCAS Nr. 18—19, 1968
51. * * * *Normativ pentru proiectarea și execuția iluminatului public*, IU—3—68, ODPT, București, 1968

52. * * * *Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de paratrăsnet pentru construcții*, I, 20-69
53. * * * *Instrucțiuni privind ameliorarea factorului de putere la consumatorii industriali și similari de energie electrică*, E 43-67. ODPT, București, 1968
54. * * * *The British Lighting Council - Guide on how to avoid discomfort glare*, London, 1966
55. * * * STAS 6646-66 *Construcții civile și industriale, iluminat artificial*
56. * * * STAS 234-67 *Bransamente electrice. Coloane electrice interioare*
57. * * * STAS 2612-68 *Protecția împotriva electrocutărilor. Limite admisibile*
58. * * * STAS 6119-68 *Instalații electrice până la 1 000 V exclusiv. Instalații de legare la pământ de protecție. Prescripții*
59. * * * STAS 8275-68 *Protecția împotriva electrocutărilor. Terminologie*
60. * * * STAS 6616-69 *Instalații electrice până la 1 000 V. Instalații de legare la nul de protecție*
61. * * * HCM 2763/68 *Regulamentul pentru furnizarea și utilizarea energiei electrice*
62. * * * *Normativ republican pentru proiectarea și executarea construcțiilor și instalațiilor din punct de vedere al prevenirii incendiilor - 1970*
63. * * * STAS 7334-70 *Instalații electrice de 1 000 V și peste 1 000 V. Instalații de legare la pământ de protecție*
64. Bianchi, C. *Contribuții la calculul iluminatului artificial, din punct de vedere al aspectului calitativ și cantitativ, în scopul realizării microclimatului luminos confortabil - teză de doctorat, Institutul politehnic Timișoara, 1972*
65. Stenzel, G., A. și Zimmermann, A. *Considerații asupra componentei directe a iluminării pentru surse luminoase*, Lichttechnik, R.F.G., Nr. 11, 1963
66. Bianchi, C. și colab. *Indrumător de proiectare pentru instalații electrice*, vol. 1, 2, Institutul de construcții, București, 1972
67. Centea, O. și colab. *Indrumător de proiectare pentru instalații electrice*, vol. 3, Institutul de construcții, București, 1972
68. Radovici, B. și Ionescu, G. *Electrotehnică, măsuri și mașini electrice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1966

Bun de tipar : 8.12.1973; Coli de tipar : 30;
Tiraj : 5 300+120 expl. legate.

Întreprinderea poligrafică „Banat”
Timișoara, Calea Aradului, nr. 1/A,
Republica Socialistă România.

Comanda nr. 219/5199.

